



**Ana Cristina  
Pinto Monteiro**

**Procedimento de Garantia e Controlo de Qualidade  
para a Previsão da Qualidade do Ar**



**Ana Cristina  
Pinto Monteiro**

**Procedimento de Garantia e Controlo de Qualidade  
para a Previsão da Qualidade do Ar**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Doutor Carlos Borrego, Professor Catedrático do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e da Doutora Maria Alexandra Monteiro, Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

## O júri

### Presidente

**Professora Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda**

Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

### Vogais

**Professor Doutor Carlos Alberto Diogo Soares Borrego**

Professor Catedrático do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Professora Doutora Maria Alexandra Castelo Sobral Monteiro**

Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor Manuel Joaquim Sabença Feliciano**

Professor Equiparado a Assistente na Escola Superior Agrária de Bragança do Instituto Politécnico de Bragança

## **agradecimentos**

Na realização da dissertação tive a sorte de poder contar com o apoio incondicional de diversas pessoas, em aspectos de natureza vasta. Por esta razão desejo demonstrar os meus sinceros agradecimentos:

Aos orientadores desta dissertação, Professor Doutor Carlos Alberto Diogo Soares Borrego e Doutora Maria Alexandra Castelo Sobral Monteiro, pelo tempo dispensado em reuniões e extra-reuniões. Pela fantástica orientação científica e pelo voto de confiança que depositaram no meu trabalho. Pelas sempre bem-vindas e certeiras opiniões e críticas ao trabalho realizado e preciosa ajuda na interpretação de resultados mais críticos. Pela simpatia e amizade construída dia após dia.

Ao gabinete 200 do DAO, pela forma simpática e sorridente com que sempre me receberam e pela disponibilidade para esclarecimento de dúvidas.

À minha filha Margarida, que todas as manhãs me desejava “Boa Tese, Mãe” e pelo sorriso que sempre me motivou a querer dar sempre mais e o melhor de mim.

Aos meus pais, pelo voto de confiança e apoio incondicional que me deram. A força diária transmitida, garantindo o sucesso da realização desta dissertação.

À primeira mesa do lado direito do segundo piso da biblioteca da Universidade de Aveiro, pela troca de conhecimentos e sorrisos partilhados.

Ao P.A. pela excelente troca de conhecimentos de informática e pelo apoio prestado.

A TODOS, vocês sabem quem, por tudo e simplesmente porque sim!



## palavras-chave

Previsão Determinística; MM5-CHIMERE; Garantia e Controlo da Qualidade; Ozono; Partículas.

## resumo

Em Portugal já é possível antever a qualidade do ar para três dias em todo o território nacional, através do sistema de previsão MM5-CHIMERE, que é um sistema de modelos determinístico desenvolvido pela Universidade de Aveiro. Após a sua implementação (2006), este sistema de previsão tem sido alvo de avaliações anuais de forma a analisar o seu desempenho. Estes processos de avaliação são importantes para que a sua utilização seja feita com confiança, quer a nível científico, quer como suporte de decisões e estratégias políticas com consequências directas na saúde e economia. A necessidade de se estabelecer um procedimento único de avaliação de sistemas de previsão promoveu a realização deste trabalho.

O presente trabalho tem como objectivo principal definir e implementar um procedimento de garantia e controlo da qualidade para aplicação ao sistema de previsão da qualidade do ar existente em Portugal, focalizando esta avaliação no desempenho do ano 2008. Na elaboração do procedimento de garantia e controlo da qualidade são definidas etapas como a verificação, validação, testes de sensibilidade, análise de incertezas e intercomparação de modelos que permitem identificar, quantificar e reduzir os erros existentes, bem como as melhorias a realizar. Para a realização destas etapas do procedimento, foram seleccionadas as estações de monitorização de qualidade do ar com carácter de fundo, relativas aos três poluentes mais críticos actualmente em Portugal,  $O_3$ ,  $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$ .

A aplicação das cinco etapas do procedimento de garantia e controlo da qualidade ao sistema de previsão MM5-CHIMERE permitiu verificar um bom desempenho em prever as concentrações de  $O_3$  para Portugal Continental, embora, o comportamento seja um pouco diferente para a previsão de  $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$ , o que salienta a necessidade de se realizar melhorias, nomeadamente o aumento da resolução da malha de simulação e a actualização do inventário de emissões, tendo em conta que a crise económica levou ao encerramento de diversas empresas de construção civil (emissoras de partículas).

Este trabalho permitiu mostrar a utilidade e a eficácia da aplicação de um procedimento de garantia e controlo da qualidade para a previsão da qualidade do ar, para Portugal Continental.

**keywords**

Deterministic forecast; MM5-CHIMERE; Assurance and Control Quality; ozone; particulate.

**abstract**

In Portugal, it is already possible to foresee the air quality for three days in the entire national territory, by means of the forecast system MM5-CHIMERE, which is a deterministic modeling system developed by the University of Aveiro. Following its implementation (2006), this forecast system has been a target of annual evaluations in order to analyze its performance. These evaluation processes are significant for making its use reliable, either at a scientific level, or as a support for political decisions and strategies with direct consequences in health and economy. The need to establish a unique evaluation proceeding of forecast systems instigated the execution of this paper.

The chief goal of this paper is to define and put into effect a quality guarantee and control proceeding for the application on the forecast system of the existing air quality in Portugal, focusing on the performance evaluation of 2008. Within the elaboration of the quality guarantee and control proceeding, one defines stages as verification, validation, sensitivity tests, uncertainty analysis and model inter-comparison which allows to identify, quantify and reduce the current errors, as well as the improvements to accomplish. For the carrying out of these proceeding stages, one selected the air quality monitoring stations of profound nature, concerning the three most critical pollutants presently in Portugal,  $O_3$ ,  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$ .

The application of the five stages of the quality guarantee and control proceeding to the forecast system MM5-CHIMERE enabled to verify a good development in foreseeing  $O_3$  concentrations for continental Portugal, although the behavior is slightly different for the forecast of  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$ , which stresses out the need of implementing improvements, namely a resolution augmentation of the simulation grid and the updating of the emissions inventory, bearing in mind that the economic recession induced the closing of a number of civil construction companies (particle emitter).

This paper allowed showing the usefulness and effectiveness of the application of a quality guarantee and control proceeding for air quality forecast, in continental Portugal.

## Índice

1. Introdução.....	1
2. Estado-da-arte da previsão da qualidade do ar.....	5
3. Descrição do sistema de previsão – sistema determinístico.....	11
3.1 Modelo meteorológico MM5 .....	12
3.1.2 Aplicação do modelo.....	14
3.2 Modelo químico de transporte – CHIMERE.....	15
3.2.1 Geometria do modelo CHIMERE .....	16
3.3 Divulgação da previsão da qualidade do ar.....	18
4. A monitorização da qualidade do ar em Portugal.....	21
4.1 Análise do tipo de estações de monitorização.....	24
5. Desenvolvimento de um procedimento de Garantia e Controlo da Qualidade (GQ/CQ) para a previsão da qualidade do ar .....	30
5.1 Verificação do sistema de previsão .....	30
5.2 Validação do sistema de previsão.....	31
5.3 Testes de sensibilidade .....	33
5.4 Análise de incertezas .....	33
5.5 Intercomparação de modelos de previsão da qualidade do ar.....	35
6. Aplicação do procedimento GQ/CQ ao sistema de previsão MM5-CHIMERE.....	36
6.1 Verificação do sistema de previsão MM5-CHIMERE .....	36
6.1.1 Análise SWOT.....	36
6.2 Validação do sistema de modelos determinístico MM5-CHIMERE .....	39
6.2.1 Ozono .....	39
6.2.2 PM <sub>10</sub> .....	57
6.2.3 PM <sub>2.5</sub> .....	73
6.3 Análise de incertezas .....	90
6.3.1 Indicadores de desempenho .....	91
6.3.2 Concordância de índices.....	92
6.4 Intercomparação de modelos.....	94
6.4.1 Determinístico e Estatístico.....	94
6.4.1.1 O <sub>3</sub> .....	94
6.4.1.2 PM <sub>10</sub> .....	98
6.4.2 MM5-CHIMERE e MM5-EURAD .....	101
6.4.2.1 O <sub>3</sub> .....	101
6.4.2.2 PM <sub>10</sub> .....	105
7. Considerações finais.....	109
8. Referências bibliográficas .....	112
Anexos.....	119

## Lista de tabelas

TABELA 1 - EXEMPLOS DE MODELOS DETERMINÍSTICOS DE PREVISÃO DA QUALIDADE DO AR E RESPECTIVOS PAÍSES [RIBEIRO, 2008; URL 6] (ADAPTADO). .....	8
TABELA 2 - PARAMETRIZAÇÕES FÍSICAS DISPONÍVEIS PARA O MODELO MM5 [DUDHIA ET AL., 2005; MONTEIRO, 2007; RIBEIRO, 2008]. .....	15
TABELA 3 – VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NECESSÁRIAS PARA O MODELO CHIMERE E RESPECTIVO OBJECTIVO [MONTEIRO, 2007; RIBEIRO, 2008]. .....	17
TABELA 4 - CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DA QUALIDADE DO AR, PARA O ANO 2008, RELATIVAMENTE À MONITORIZAÇÃO E PREVISÃO [URL 1]. .....	18
TABELA 5 – ETAPAS FUNDAMENTAIS À ELABORAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO GQ/CQ APLICÁVEL À PREVISÃO QUALIDADE DO AR. ....	30
TABELA 6 – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS ESPECÍFICOS PARA A VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE PREVISÃO, COM AS RESPECTIVAS EQUAÇÕES, GAMA DE VALORES ACEITÁVEIS E OS VALORES IDEAIS. ....	31
TABELA 7 – ANÁLISE SWOT APLICADA AO SISTEMA DE PREVISÃO MM5-CHIMERE. ....	37
TABELA 8 – FALSO ALARME (%) PARA OS IQA FRACO E MAU, PARA O O <sub>3</sub> (A) E PM <sub>10</sub> (B), PARA O ANO 2008. ....	91
TABELA 9 – PROBABILIDADE DE DETECÇÃO (%) PARA OS IQA FRACO E MAU, PARA O O <sub>3</sub> (A) E PM <sub>10</sub> (B), PARA O ANO 2008. ....	92
TABELA 10 – CONCORDÂNCIA (%) ENTRE O IQA SIMULADO E IQA OBSERVADO, PARA O <sub>3</sub> (A) E PM <sub>10</sub> (B), PARA OS 3 DIAS PREVISTOS, DURANTE O ANO 2008. ....	93

## Lista de figuras

FIGURA 1 - ESQUEMA SIMPLIFICADO DA INTERACÇÃO DO SISTEMA DE MODELOS MM5-CHIMERE [MONTEIRO, 2007].....	11
FIGURA 2 - CONFIGURAÇÃO VERTICAL (A) E HORIZONTAL (B) DO MODELO METEOROLÓGICO MM5 [DUDHIA ET AL., 2005; RIBEIRO, 2008].....	12
FIGURA 3 - MÓDULOS DO SISTEMA PENN STATE/NCAR [DUDHIA ET AL., 2005; MONTEIRO, 2007, RIBEIRO, 2008] (ADAPTADO).....	13
FIGURA 4 – DOMÍNIO DE SIMULAÇÃO DO MODELO MM5 PARA APLICAÇÃO NO SISTEMA DE PREVISÃO DA QUALIDADE DO AR EM PORTUGAL CONTINENTAL [MONTEIRO, 2007]. ....	15
FIGURA 5 – DOMÍNIO EUROPEU (CHIM-EUR) E PORTUGUÊS (CHIM-PT) DE APLICAÇÃO DO MODELO CHIMERE A PORTUGAL CONTINENTAL [MONTEIRO, 2007]. ....	16
FIGURA 6 - PÁGINA PRINCIPAL DE ACESSO À PREVISÃO DA QUALIDADE DO AR [URL 3]. ....	19
FIGURA 7 - PÁGINA DE INTERNET DE ACESSO À INFORMAÇÃO SOBRE O ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR PREVISTO PARA O O <sub>3</sub> E PM <sub>10</sub> [URL 3]. ....	20
FIGURA 8 – DISTRIBUIÇÃO DAS ZONAS E AGLOMERAÇÕES EM PORTUGAL CONTINENTAL, REFERENTES À MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR [URL 4]. ....	22
FIGURA 9 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESTAÇÕES MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM PORTUGAL CONTINENTAL [URL 1]. ....	23
FIGURA 10 – EVOLUÇÃO DIÁRIA DOS VALORES HORÁRIOS DE O <sub>3</sub> E PM <sub>10</sub> , PARA O PERÍODO 2006-2008, PARA AS ESTAÇÕES DE FUNDO SELECIONADAS. ....	27
FIGURA 11 – (A) MAPA COM AS ESTAÇÕES DE FUNDO DE MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR, EM 2008; (B) MAPA COM AS ESTAÇÕES DE FUNDO, SELECIONADAS A PARTIR DA ANÁLISE DO PERFIL DIÁRIO, E AS PRINCIPAIS ESTRADAS DE PORTUGAL CONTINENTAL. ....	29
FIGURA 12 - GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA ERMESINDE. ....	40
FIGURA 13 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO. ....	41
FIGURA 14 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA FUNDÃO.....	42
FIGURA 15 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO. ....	43
FIGURA 16 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA FORNELO DO MONTE. ....	44
FIGURA 17 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO. ....	45
FIGURA 18 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA ERVEDEIRA. ....	46
FIGURA 19 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO. ....	47
FIGURA 20 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA CHAMUSCA.....	48
FIGURA 21 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO. ....	49
FIGURA 22 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA QUINTA DO MARQUÊS. ....	50
FIGURA 23 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO. ....	51
FIGURA 24 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA LARANJEIRO. ....	52
FIGURA 25 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO. ....	53
FIGURA 26 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA CAMARINHA. ....	54
FIGURA 27 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE	

PREVISÃO.....	55
FIGURA 28 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA ERMESINDE.....	57
FIGURA 29 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO.....	58
FIGURA 30 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA FUNDÃO.....	59
FIGURA 31 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO.....	60
FIGURA 32 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA FORNELO DO MONTE.....	61
FIGURA 33 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO.....	62
FIGURA 34 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA ERVEDEIRA.....	63
FIGURA 35 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO.....	64
FIGURA 36 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA CHAMUSCA.....	65
FIGURA 37 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO.....	66
FIGURA 38 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA QUINTA DO MARQUÊS.....	67
FIGURA 39 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO.....	68
<b>FIGURA 40 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA LARANJEIRO.....</b>	<b>69</b>
FIGURA 41 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO.....	70
FIGURA 42 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA CAMARINHA.....	71
FIGURA 43 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO.....	72
FIGURA 44 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA CAMARINHA.....	74
FIGURA 45 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO.....	75
FIGURA 46 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA CHAMUSCA.....	76
FIGURA 47 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO.....	77
FIGURA 48 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA ERVEDEIRA.....	78
FIGURA 49 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO.....	79
FIGURA 50 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA FERNANDO PÓ.....	80
FIGURA 51 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO.....	81
<b>FIGURA 52 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA FUNDÃO.....</b>	<b>82</b>
FIGURA 53 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO.....	83
FIGURA 54 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA MEM-MARTINS.....	84
FIGURA 55 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE	

PREVISÃO. ....	85
FIGURA 56 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA OLIVAIS. ....	86
FIGURA 57 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO. ....	87
FIGURA 58 – GRÁFICO COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS TRÊS DIAS DE PREVISÃO E COM OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MÉDIOS PARA LAMAS DE OLO. ....	88
FIGURA 59 – GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS E DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESPECTIVOS DIAS DE PREVISÃO. ....	89
FIGURA 60 – GRÁFICO COM A CONCORDÂNCIA (%) ENTRE O IQA SIMULADO E IQA OBSERVADO, PARA O <sub>3</sub> (A) E PM <sub>10</sub> (B), PARA OS 3 DIAS PREVISTOS, DURANTE O ANO 2008. ....	93
<b>FIGURA 61</b> – PARÂMETRO ESTATÍSTICO, R, APRESENTADO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO PARA OS DOIS MODELOS DE PREVISÃO, DETERMINÍSTICO E ESTATÍSTICO. ....	95
FIGURA 62 – PARÂMETRO ESTATÍSTICO, BIAS, APRESENTADO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO PARA OS DOIS MODELOS DE PREVISÃO, DETERMINÍSTICO E ESTATÍSTICO. ....	95
FIGURA 63 – PARÂMETRO ESTATÍSTICO, EQM, APRESENTADO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO PARA OS DOIS MODELOS DE PREVISÃO, DETERMINÍSTICO E ESTATÍSTICO. ....	96
FIGURA 64 – ANÁLISE QUALITATIVA DA INTERCOMPARAÇÃO DOS MODELOS ESTATÍSTICOS E DETERMINÍSTICO, PARA O O <sub>3</sub> , ATRAVÉS DE GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS. ....	97
FIGURA 65 – PARÂMETRO ESTATÍSTICO, R, APRESENTADO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO PARA OS DOIS MODELOS DE PREVISÃO, DETERMINÍSTICO E ESTATÍSTICO. ....	98
FIGURA 66 – PARÂMETRO ESTATÍSTICO, BIAS, APRESENTADO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO PARA OS DOIS MODELOS DE PREVISÃO, DETERMINÍSTICO E ESTATÍSTICO. ....	98
FIGURA 67 – PARÂMETRO ESTATÍSTICO, EQM, APRESENTADO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO PARA OS DOIS MODELOS DE PREVISÃO, DETERMINÍSTICO E ESTATÍSTICO. ....	99
FIGURA 68 – ANÁLISE QUALITATIVA DA INTERCOMPARAÇÃO DOS MODELOS ESTATÍSTICOS E DETERMINÍSTICO, PARA PM <sub>10</sub> , ATRAVÉS DE GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS. ....	100
FIGURA 69 – PARÂMETRO ESTATÍSTICO, R, APRESENTADO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO PARA OS DOIS MODELOS DE PREVISÃO, DETERMINÍSTICO E ESTATÍSTICO. ....	101
FIGURA 70 – PARÂMETRO ESTATÍSTICO, BIAS, APRESENTADO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO PARA OS DOIS MODELOS DE PREVISÃO, DETERMINÍSTICO E ESTATÍSTICO. ....	102
FIGURA 71 – PARÂMETRO ESTATÍSTICO, EQM, APRESENTADO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO PARA OS DOIS MODELOS DE PREVISÃO, DETERMINÍSTICO E ESTATÍSTICO. ....	102
FIGURA 72 – ANÁLISE QUALITATIVA DA INTERCOMPARAÇÃO DOS SISTEMAS DE PREVISÃO MM5-CHIMERE E MM5-EURAD, PARA O <sub>3</sub> , ATRAVÉS DE GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS. ....	104
FIGURA 73 – PARÂMETRO ESTATÍSTICO, R, APRESENTADO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO PARA OS DOIS MODELOS DE PREVISÃO, CHIMERE E EURAD. ....	105
FIGURA 74 – PARÂMETRO ESTATÍSTICO, BIAS, APRESENTADO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO PARA OS DOIS MODELOS DE PREVISÃO, CHIMERE E EURAD. ....	106
FIGURA 75 – PARÂMETRO ESTATÍSTICO, EQM, APRESENTADO PARA CADA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO PARA OS DOIS MODELOS DE PREVISÃO, CHIMERE E EURAD. ....	106
FIGURA 76 – ANÁLISE QUALITATIVA DA INTERCOMPARAÇÃO DOS SISTEMAS DE PREVISÃO MM5-CHIMERE E MM5-EURAD, PARA PM <sub>10</sub> , ATRAVÉS DE GRÁFICOS DE SÉRIES TEMPORAIS. ....	108

## 1. Introdução

A poluição atmosférica resulta de situações em que os poluentes provenientes de determinadas fontes, nomeadamente da actividade antropogénica, estão presentes na atmosfera em concentrações superiores às do ambiente natural, podendo ter impactes na saúde humana, animal e vegetal [Seinfeld e Pandis, 1998]. Na atmosfera, os poluentes sofrem processos de advecção, de dispersão e, ainda de deposição, no solo ou noutras superfícies. Durante estes processos os poluentes podem sofrer transformações químicas, formando os denominados poluentes secundários, como é o caso do ozono. As partículas podem ser emitidas directamente para a atmosfera ou formadas por condensação, coagulação ou por processos químicos. O tamanho das partículas é importante porque influenciam o seu transporte e deposição [Fenger *et al.*, 1998]. Com o objectivo de minorar os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana e o ambiente, desde há muito foram adoptadas medidas legislativas, tanto a nível nacional como a nível comunitário.

A nova Directiva-Quadro 2008/50/CE, aprovada a 21 de Maio de 2008, relativa à qualidade do ar ambiente e com o objectivo de um ar mais limpo na Europa, visa a simplificação e a melhoria da legislação relacionada com a qualidade do ar, fundindo num acto único a Directiva-Quadro nº 96/62/CE, três das suas quatro Directivas-Filhas (1999/30/CE, 2000/69/CE e 2002/3/CE), bem como a Decisão nº 97/101/CE sobre o intercâmbio de informação em matéria de poluição atmosférica. Este novo diploma diminui as exigências relativas à apresentação de relatórios, devido à criação de uma base de dados electrónica e reforça as exigências de planificação pelos Estados-Membros para garantir o respeito dos limites de concentração de poluentes. Para além disso, introduz medidas relativas às partículas finas (PM<sub>2,5</sub>), nomeadamente o estabelecimento de um limite máximo de concentração nas zonas mais poluídas (20 µg.m<sup>-3</sup>), objectivos de redução a atingir até 2020 e o reforço da vigilância desse tipo de poluente. Neste novo diploma, reforça-se ainda a necessidade de se recorrer à modelação de forma a possibilitar a previsão da qualidade do ar, possibilitando o alerta das populações e a implementação de planos de acção imediata e a obrigatoriedade da divulgação pública da qualidade do ar ao público. Desta forma, torna-se possível ter uma visão antecipada da qualidade do ar e evitar episódios de excedências de concentrações de determinados poluentes, com a aplicação de medidas de curto-prazo que previnam a ocorrência destes episódios, ou pelo menos, minimizem o seu impacto.

A modelação da dispersão e transformação dos poluentes atmosféricos tem-se mostrado uma ferramenta bastante útil na descrição de fenómenos de poluição, para a elaboração de planos e programas que permitam atenuar os impactes associados à poluição atmosférica. Quando a modelação da qualidade do ar teve início, em 1970, as fontes computacionais eram bastante



limitadas e simplificações grosseiras eram aplicadas de forma a ser possível resolver as equações do modelo numérico. Com o aumento do desenvolvimento tecnológico, foi possível melhorar a capacidade de resolução dos modelos e, desta forma, ter uma maior aproximação da realidade.

Um modelo é geralmente definido como uma representação matemática da realidade [Reid *et al.*, 2007]. Os modelos numéricos com aplicações em qualidade do ar descrevem a dispersão dos poluentes e as suas transformações físico-químicas na atmosfera [Mallet e Sportisse, 2008; Reid *et al.*, 2007]. Os modelos necessitam de dados de entrada (*inputs*) de forma a possibilitar a determinação das concentrações dos diversos poluentes distribuídas no espaço e no tempo. Estes dados de entrada estão relacionados com os inventários de emissões, dados meteorológicos e topográficos, uso do solo, condições fronteira, entre outros.

Actualmente a modelação da qualidade do ar já não é apenas uma ferramenta de diagnóstico [Simpson, 1992; Borrego *et al.*, 2006, Monteiro *et al.*, 2007], possibilitando tanto a previsão operacional como a de cenários futuros. Permite estimar os efeitos das emissões e da meteorologia nas concentrações e na dispersão de poluentes [Vautard *et al.*, 2001; Borrego *et al.*, 2002a], avaliar a mitigação dos impactes da poluição atmosférica na saúde humana, bem como a implementação de planos de acção. Em termos de previsão operacional da qualidade do ar, pretende-se que esta seja fornecida ao público em geral e às autoridades, numa base diária de forma a criar-se medidas estratégicas para a redução das emissões [Monteiro, 2007].

Em Portugal existem actualmente dois sistemas de previsão: o sistema estatístico da FCT/UNL<sup>1</sup> e o sistema determinístico da UA<sup>2</sup>. O sistema estatístico baseia-se em análises da regressão linear múltipla (RM) e da regressão em árvore (CART), estimando as concentrações médias diárias de PM<sub>10</sub>, bem como as concentrações máximas diárias de O<sub>3</sub>, para o dia seguinte [Neto *et al.*, 2005], a partir de um conjunto de dados meteorológicos e de qualidade do ar observados. O modelo determinístico, composto por um modelo meteorológico MM5 e um modelo químico CHIMERE, integra as previsões das variáveis meteorológicas necessárias, o inventário de emissões, as características do domínio e o conhecimento físico-químico da dispersão de poluentes atmosféricos [Monteiro *et al.*, 2005]. O sistema determinístico é o alvo principal de estudo neste trabalho e é descrito mais pormenorizadamente no Capítulo 3. Em ambos os sistemas, a previsão da qualidade do ar é fornecida quantitativamente, através de valores de concentrações das espécies poluentes, para além da sua expressão em termos de um índice de qualidade do ar (IQA) [URL 1]. Está a ser ponderada a possibilidade de conjugação dos dois modelos, numa metodologia única de previsão, aproveitando os melhores resultados e a capacidade de resposta de cada um deles. No entanto, dada a diferente natureza dos métodos em causa, os resultados da previsão da qualidade do

---

<sup>1</sup> FCT/UNL – Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

<sup>2</sup> UA – Universidade de Aveiro.

ar são ainda apresentados de forma distinta, sendo divulgados diariamente através da internet ([www.qualar.org](http://www.qualar.org)), dos jornais e rádio (Antena 1). Nesta fase, o modelo estatístico abrange apenas a área Metropolitana de Lisboa e Porto Litoral, enquanto o modelo determinístico cobre todo o território nacional continental [URL 1].

Existem outros países a fazer a previsão da qualidade do ar para Portugal, nomeadamente a Alemanha e Espanha, usando modelos EURAD [Jacobs *et al.*, 2002] e CMAQ [Jimenez *et al.*, 2006], respectivamente. Esta iniciativa pretende, após uma avaliação do desempenho de cada modelo, salientar as capacidades de cada, e através de uma futura junção destes modelos, promover uma menor propagação do erro de previsão e melhorar as estimativas. Outros desenvolvimentos estão em vias de se realizarem, tais como o refinamento da malha de simulação e da cobertura do uso do solo, assim como a incorporação do módulo de cálculo das emissões provenientes de incêndios florestais. Assim, está a caminhar-se no sentido de atingir uma metodologia de melhoria contínua, que consiga dar resposta a todas as expectativas que se formam em torno da previsão da qualidade do ar.

O carácter aleatório do escoamento atmosférico (a variabilidade temporal e espacial) e a incerteza nos resultados dos sistemas de previsão, devido a erros nos seus valores de entrada e na sua formulação física, obrigam a uma constante avaliação das previsões. De facto, não é possível ter sistemas de previsão de qualidade do ar que consigam representar na totalidade a realidade, mas é possível reduzir alguns dos efeitos acima identificados e avaliar adequadamente estes sistemas para garantir a confiança nos seus resultados [Monteiro, 2007].

O sistema de modelos MM5-CHIMERE tem sido alvo de avaliações, nos últimos anos, desde o seu desenvolvimento em 2005 [Monteiro, 2007; Ribeiro, 2008], de forma a analisar o desempenho do mesmo. Estes procedimentos são importantes para que a sua utilização seja feita com confiança, quer ao nível científico, quer como suporte de decisões e estratégias políticas com consequências directas na saúde e economia. As avaliações permitem ainda, atingir novos patamares do desenvolvimento, dado que possibilitam encontrar melhorias que promovam resultados com uma credibilidade ainda maior e, assim retratar com mais proximidade a realidade.

Este trabalho surge no âmbito do protocolo estabelecido entre a Universidade de Aveiro e a Agência Portuguesa do Ambiente, em que um dos objectivos é assegurar o funcionamento e avaliação do desempenho do sistema de previsão da qualidade do ar para Portugal, operacional desde 2006. Desta forma, o presente trabalho tem como objectivo principal definir e implementar um procedimento de garantia e controlo da qualidade para aplicação ao sistema de previsão da qualidade do ar existente em Portugal, focalizando esta avaliação no desempenho do ano 2008. Na elaboração do procedimento de garantia e controlo da qualidade são definidas etapas (verificação,

validação, testes de sensibilidade, análise de incertezas e intercomparação) que permitem identificar, quantificar e reduzir os erros existentes, bem como as melhorias a realizar.

Este trabalho divide-se em seis capítulos fundamentais. Inicia-se com o estado-da-arte da previsão, onde se apresenta a pesquisa bibliográfica sobre os sistemas de previsão existentes e os procedimentos de garantia e controlo da qualidade aplicados à modelação da qualidade do ar. Posteriormente, é apresentada uma breve descrição do sistema de modelos, MM5-CHIMERE, de forma a ser possível compreender e interpretar os resultados que se obtêm da previsão. O capítulo 4 apresenta a rede de monitorização da qualidade do ar existente em Portugal, juntamente com a análise e selecção das estações mais representativas (em termos de localização, eficiência e tipo de influência) para serem usadas neste processo de avaliação do sistema de previsão. O capítulo 5, respeitante à elaboração do procedimento de garantia e controlo da qualidade, objectivo principal deste trabalho, foca os cinco passos fundamentais, verificação, validação, análise de sensibilidade, análise de incertezas e intercomparação de modelos. Neste capítulo são definidos todos os parâmetros a utilizar futuramente na avaliação do desempenho do modelo. O capítulo seguinte é a aplicação directa dos princípios definidos no capítulo antecedente, aplicando-se uma análise SWOT, referente à verificação e efectuando-se a validação do sistema de modelo MM5-CHIMERE, sem esquecer a avaliação das melhorias aplicadas e das incertezas associadas a este. O exercício de intercomparação com os restantes modelos, estatístico da Universidade Nova de Lisboa e MM5-EURAD de Alemanha, também é realizado neste capítulo de aplicação do sistema de garantia e controlo da qualidade. Por fim, serão tiradas as conclusões sobre o trabalho realizado e apontadas as estratégias futuras que poderão promover a melhoria contínua do desempenho do sistema de previsão.

## **2. Estado-da-arte da previsão da qualidade do ar**

A nova Directiva-Quadro da qualidade do ar frisa a importância e a necessidade de se recorrer à previsão do estado da qualidade do ar, que deve ser fornecida, numa base diária, como informação ao público em geral e às autoridades, de forma a suportar decisões estratégicas para a redução de emissões e gestão da qualidade do ar [Monteiro, 2007].

Um bom sistema de previsão não deve estar só associado a valores óptimos de precisão e exactidão, como também deve ter a sensibilidade para dar resposta às necessidades e objectivos dos utentes e utilizadores do sistema de previsão [USEPA, 1999; Monteiro, 2007]. Por outro lado, os objectivos da previsão da qualidade do ar só são possíveis de alcançar se o método de previsão escolhido e aplicado for credível e se possibilitar previsões com relativa antecipação. Para Portugal, os objectivos principais da previsão da qualidade do ar, estão relacionados com a necessidade de informar o público em geral e as autoridades para a protecção da saúde pública, através da sua divulgação, em tempo real, no site da APA<sup>3</sup> ([www.qualar.org](http://www.qualar.org)); suportar decisões estratégicas e programas de acção de curto prazo para a gestão da qualidade do ar, permitindo ainda avaliar a rede de monitorização da qualidade do ar, de forma a esta garantir a cobertura dos locais mais críticos em termos de poluição atmosférica.

Existem diversos métodos de previsão, desde os mais rudimentares até aos mais exigentes em termos computacionais. Os de desenvolvimento mais simples e de fácil operação, normalmente, apresentam uma baixa precisão e exactidão, enquanto modelos mais complexos têm apetência para produzir previsões mais próximas da realidade. O ideal, em matéria de previsão é muitas vezes combinar dois ou mais métodos de forma a equilibrar as limitações de um com as vantagens de outro [Delle Monache e Stull, 2003].

Os métodos existentes e usados na previsão da qualidade do ar dividem-se em métodos estatísticos e numéricos [USEPA, 1999]. Os métodos estatísticos baseiam-se nas relações existentes entre variáveis meteorológicas e de qualidade do ar, fornecendo em alguns casos, uma probabilidade de excedência de um determinado nível de concentração. Estes métodos relacionam as variáveis meteorológicas e as concentrações dos poluentes através de métodos matemáticos, como a regressão linear e análise de conjuntos ou redes neuronais [USEPA, 1999]. Os modelos numéricos de previsão da qualidade do ar, modelos numéricos 3D, baseiam-se na descrição matemática e físico-química dos processos atmosféricos que influenciam as concentrações dos poluentes (transporte, dispersão e química) e no uso de algoritmos computacionais para a sua resolução. Este tipo de modelos integra e processa a informação meteorológica, as emissões e a química para estimar o estado físico e químico da atmosfera num tempo futuro. Os dados de entrada, meteorológicos e de emissões, são também obtidos através de modelos de prognóstico.

Este é o único método utilizado para a previsão que considera, como dados de entrada, as emissões atmosféricas, parâmetro fundamental na gestão da qualidade do ar. No entanto, este método envolve recursos computacionais e humanos consideráveis, necessários para estabelecer um sistema de previsão credível e automatizado de meteorologia, emissões e qualidade do ar [Monteiro, 2007].

Em relação aos estatísticos existe um conjunto de métodos referidos em bibliografia, sendo eles:

- **Método da persistência**, em que as concentrações dos poluentes, passadas e presentes, são utilizadas para prever as concentrações futuras. Esta previsão é possível, uma vez que as variáveis atmosféricas apresentam uma associação estatística positiva com os seus valores passados ou futuros. Este método não necessita de muitos conhecimentos e tem um desenvolvimento fácil e simples, que pode ser eficaz sob condições estáticas, mas sob condições dinâmicas não apresenta bons resultados. Esta previsão é útil como ponto de partida e serve como linha orientadora de comparação para outros métodos, não devendo, no entanto, ser utilizado como modelo único de previsão;
- **Método fenomenológico/intuitivo**, que envolve a análise e o processamento da informação meteorológica e da qualidade do ar passada para formular a previsão futura. Trata-se de uma metodologia fortemente baseada na experiência de um meteorologista ou especialista dos fenómenos atmosféricos, devendo ser utilizado com outros métodos de previsão, uma vez que equilibra alguma das limitações dos métodos de previsão numéricos;
- **Método climatológico**, que se baseia no estudo das condições extremas do clima para uma dada região para prever os níveis de poluentes no ar. Apresentam normalmente autocorrelações entre séries temporais de climatologia e concentração de poluentes [Robeson e Steyn, 1989]. Tratam-se de ferramentas que ajudam a orientar as previsões da qualidade do ar feitas por outros métodos, podendo ser úteis quando os outros métodos prevêm episódios extremos;
- **Método ‘critéria’**, onde se usa um valor de variáveis meteorológicas ou de qualidade do ar para prever as concentrações de poluentes. Defende que são as variáveis climáticas ou meteorológicas que melhor explicam as alterações dia a dia nas concentrações de poluentes, apesar das alterações das emissões diárias poderem afectar a qualidade do ar. É mais eficaz prever a probabilidade de uma excedência do que uma concentração exacta de um poluente, devendo por isso ser utilizado como um método primário de prognóstico ou combinado com outros métodos;

---

<sup>3</sup> APA – Agência Portuguesa do Ambiente.

- **Método de regressão linear**, onde são desenvolvidas equações de regressão de modo a descrever a relação entre a concentração de um poluente e variáveis de previsão (meteorológicas, por exemplo) [Robeson e Steyn, 1990; Gardner e Dorling, 2000; Cogliani, 2001]. É um método relativamente fácil de operar, envolvendo apenas o desenvolvimento das equações de regressão;
- **Redes neuronais**, em que os níveis de poluição atmosférica são previstos através de algoritmos computacionais inicialmente desenvolvidos para simular redes biológicas neuronais, compostos por um conjunto não-linear de equações e factores de ponderação [Gardner e Dorling, 2000; Kolehmainen *et al.*, 2001]. Comparativamente com o desenvolvimento da rede, a sua operação é directa e requer poucos conhecimentos. No entanto, é aconselhável que alguém com conhecimento dos processos meteorológicos e de qualidade do ar esteja envolvido no desenvolvimento do método e na avaliação das previsões.

Os métodos da regressão, das redes neuronais e os fenomenológicos distinguem-se pelo grau de exactidão moderado a alto, enquanto os restantes métodos apresentam baixa ou moderada exactidão [USEPA, 1999; Monteiro, 2007].

Já são muitos os países que, paralelamente à previsão meteorológica, fazem previsão da qualidade do ar. Os Estados-Unidos foram o primeiro país a fazer a previsão e, hoje em dia, a divulgação desta previsão já é considerada um serviço público. Actualmente, os modelos ou sistemas de modelos numéricos já se encontram implementados um pouco por todo o mundo [Vautard *et al.*, 2001; Hess *et al.*, 2001; Chevenez e Jensen, 2001; Jakobs *et al.*, 2002; Jiménez *et al.*, 2006; Monteiro, 2007]. De seguida apresenta-se uma tabela (Tabela 1) com exemplos de modelos determinísticos de previsão da qualidade do ar com os respectivos países onde são aplicados. Apresentam-se apenas os modelos determinísticos, uma vez que este trabalho foca, essencialmente, o sistema de previsão determinístico operacional em Portugal.

**Tabela 1** - Exemplos de modelos determinísticos de previsão da qualidade do ar e respectivos países [Ribeiro, 2008; URL 6] (adaptado).

<b>Modelo Químico</b>	<b>Países de aplicação do modelo</b>		
<b>LOTOS-EUROS</b>	Holanda	[Builjes, 1992]	Europeus
<b>CHIMERE</b>	França, Portugal, Espanha, Itália	[Vautard <i>et al.</i> , 2001; Monteiro <i>et al.</i> , 2005; URL 7; URL 2]	
<b>THOR</b>	Dinamarca	[Brandt <i>et al.</i> , 2001]	
<b>SILAM</b>	Finlândia, Alemanha	[Sofiev <i>et al.</i> , 2006]	
<b>EURAD</b>	Alemanha	[Jacobs <i>et al.</i> , 2002]	
<b>CMAQ</b>	Espanha, Grécia, EUA, Inglaterra	[Byun e Chind, 1999]	Americanos
<b>CAMx</b>	Grécia, Itália, EUA, Polónia	[Tesche <i>et al.</i> , 2006]	
<b>TAPM</b>	Austrália	[URL 8]	Australianos

A previsão realizada recorre vulgarmente a um Índice de Qualidade do Ar (IQA), que é um parâmetros estatístico que permite uniformizar o fornecimento da informação ao público sobre o estado da qualidade do ar e os seus efeitos na saúde humana e é normalmente divulgado através da Internet [USEPA, 1999; URL 1].

Os métodos estatísticos, apesar das suas limitações, nomeadamente pelos processos físicos e químicos subjacentes serem dificilmente explicados através de modelos lineares, têm sido utilizados em vários países com um índice de eficiência bastante satisfatório, como por exemplo, nos Estados Unidos da América, Chile e Portugal [USEPA, 1999; Monteiro, 2007].

Após a implementação de um sistema de previsão, independentemente dos métodos utilizados, é indispensável a implementação de procedimentos de garantia e controlo de qualidade dos modelos, para assegurar o seu bom desempenho [Borrego *et al.*, 2003a]. Este procedimento é uma ferramenta bastante importante em estudos ambientais, especialmente quando esses estudos levam a decisões políticas de forma a minimizar os problemas ambientais [Borrego *et al.*, 1998]. Os procedimentos de garantia e controlo da qualidade estão concebidos para garantir que os métodos e os princípios usados são os mais apropriados, que os erros de cálculo e de medição são minimizados e que a documentação é adequada aos objectivos estabelecidos.

Para se conseguir estabelecer procedimentos adequados de garantia e controlo da qualidade é necessário conhecer os conceitos com que se está a trabalhar. Assim sendo, entende-se por garantia da qualidade um sistema integrado de actividades de gestão, que envolve o planeamento, a documentação e a avaliação para garantir se o modelo é ou não apropriado, isto é, se atinge os objectivos definidos inicialmente. Segundo Borrego *et al.* [1998], na etapa de planeamento são

definidos os objectivos e propostas do modelo e seleccionados os indicadores de qualidade. Relativa à documentação, descreve-se o modelo e a base de dados e, por fim realiza-se uma avaliação científica e uma avaliação do utilizador. O controlo da qualidade está associado à implementação do próprio procedimento e deve incluir cinco passos importantes: verificação, validação, análise de sensibilidade, análise de incertezas e intercomparação de modelos. A verificação mostra as capacidades do modelo perante a capacidade de representar a realidade. É neste ponto que se apresentam as falhas existentes e quais as mudanças a realizar de forma a minimizar as mesmas. A validação está associada à análise dos dados previstos comparativamente com os dados monitorizados, demonstrando se a previsão se aproxima ou não da realidade. Os testes de sensibilidade são normalmente usados para avaliar as incertezas associadas ao modelo, estudando como a variação nos dados de entrada de um modelo se reflecte nos resultados calculados [Saltelli *et al.*, 2000]. Os testes de sensibilidade permitem ainda avaliar as melhorias que se vão aplicando ao modelo. O sistema de modelos MM5-CHIMERE tem sofrido alterações, de forma a promover uma melhoria contínua do seu desempenho, nomeadamente: módulo de exposição, permitindo incorporar o cálculo da exposição no modelo de previsão e a inclusão das emissões espanholas. A implementação destas melhorias e a sua avaliação são exemplos de testes de sensibilidade que podem ser realizados.

A análise de incertezas é um ponto crucial para a garantia e controlo de qualidade de um modelo de previsão. A incerteza total de um modelo é definida como a soma da incerteza associada ao modelo, a incerteza associada aos dados de entrada e a variabilidade. No entanto, como é difícil determinar as incertezas independentemente, é vulgar a estimativa total das incertezas [Borrego *et al.*, 2008]. Por fim, a intercomparação de modelos apresenta-se como uma ferramenta de melhoria dos sistemas de previsão, pois comparando diferentes modelos que prevêem a qualidade do ar para o mesmo local, pode diminuir-se o erro associado a essa previsão, através da sua conjugação. No futuro, espera-se que a previsão da qualidade do ar para um dado local resulte de um conjunto de modelos, de forma a minimizar os erros inerentes à previsão.

Para a avaliação do desempenho de um sistema de previsão da qualidade do ar é necessário conhecer as respostas às seguintes questões [Dabberdt *et al.*, 1981]:

- Como é que o modelo se comporta relativamente às previsões das concentrações máximas de poluentes?
- Como é que as flutuações nos valores previstos acompanham as flutuações dos dados monitorizados, no tempo e no espaço?
- Qual a proximidade entre as concentrações previstas e monitorizadas?

A resposta a estas questões envolve geralmente dois tipos de análise: a análise qualitativa e a análise quantitativa. A primeira foca-se na visualização gráfica, através das séries temporais, que

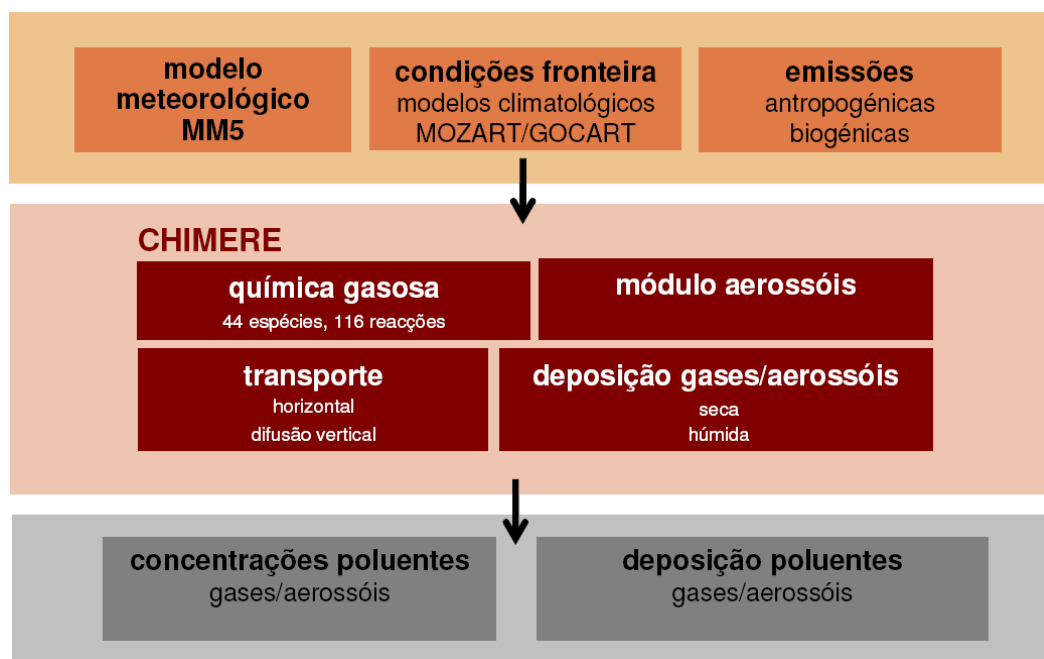


permitem analisar o comportamento, ao longo do tempo, dos dados previstos e monitorizados e dos ‘scatter plots’, que possibilitam obter a forma como ambos os dados se correlacionam. O segundo tipo de análise, quantitativa, recorre essencialmente à análise estatística, através de parâmetros definidos à priori. Os parâmetros utilizados não têm sofrido grandes alterações ao longo do tempo, como se verifica através da revisão bibliográfica, relacionada com este assunto [Dabberdt *et al.*, 1981].

### 3. Descrição do sistema de previsão – sistema determinístico

A necessidade de simular a qualidade do ar para Portugal Continental, isto é, a um nível regional, exige um sistema de modelos que à escala global utiliza uma malha grosseira e refina a resolução para as áreas de maior interesse, executando múltiplos *nesting*<sup>4</sup> [Grell *et al.*, 2000]. O sistema de modelos usado actualmente para a previsão da qualidade do ar é composto por dois modelos [Monteiro *et al.*, 2007], o modelo meteorológico de mesoscala MM5 do “National Center Atmospheric Research” (NCAR) e o modelo químico de transporte multi-escala CHIMERE, desenvolvido em França pelo Institute Pierre-Simon Laplace (IPSL), pelo Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA) e pelo Institut National de l’Environnement Industriel et des Risques (INERIS) e adaptado para as condições de Portugal [Monteiro *et al.*, 2007].

A distribuição tri-dimensional da concentração e da deposição dos poluentes no espaço e no tempo resulta da interacção dos dois modelos (Figura 1).



**Figura 1** - Esquema simplificado da interacção do sistema de modelos MM5-CHIMERE [Monteiro, 2007].

Para a aplicação dos dois modelos, modelo meteorológico (MM5) e modelo químico de transporte (CHIMERE), são necessários alguns parâmetros de entrada. Para o modelo meteorológico (MM5) tem que existir informação sobre: topografia, uso do solo, análise meteorológica em grelha (vento, temperatura, humidade relativa, pressão média ao nível do mar,

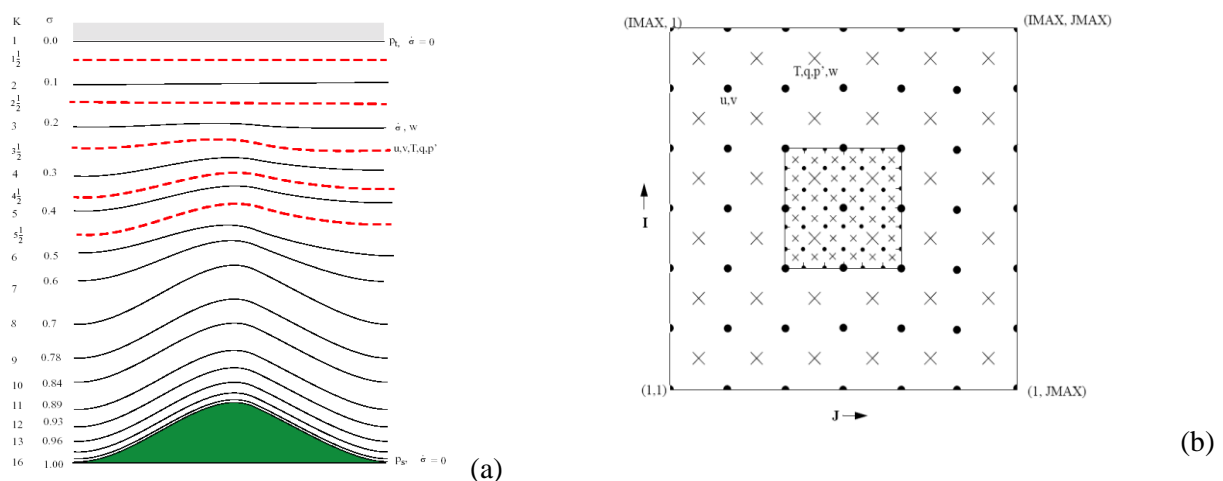
<sup>4</sup> *Nesting* – Capacidade de zooming espacial de um modelo, usando os dados de simulação de maior escala como entradas para a simulação de menor escala [Monteiro, 2007].

entre outros) e, opcionalmente dados meteorológicos observados (radiossondagens e dados de superfície) [Monteiro, 2007]. Os resultados do modelo MM5 dão entrada no modelo CHIMERE, composto por quatro grandes módulos: química gasosa, módulo “aerossóis”, transporte e deposição de gases e aerossóis [Ribeiro, 2008].

### 3.1 Modelo meteorológico MM5

O modelo MM5<sup>5</sup> foi desenvolvido no início dos anos 70, nos Estados Unidos da América, pelo NCAR. Este modelo tem sofrido constantes melhoramentos pelos seus utilizadores, quer em universidades, quer em laboratórios governamentais, sendo frequentemente aplicado como modelo meteorológico nos sistemas de previsão da qualidade do ar [Barnum *et al.*, 2004; Vautard *et al.*, 2004; Pasken e Pietrowicz, 2005; Monteiro *et al.*, 2007; Pirovano *et al.*, 2007; Civerolo *et al.*, 2007; Jiménez-Guerrero *et al.*, 2008; Yu *et al.*, 2008; Ribeiro, 2008, entre outros]. Este é um modelo de dinâmica não hidrostática, capaz de simular ou prever a circulação atmosférica nas quatro dimensões (x, y, z, t) e de reproduzir múltiplos *nestings*. Inclui parametrizações do solo e da vegetação [Dudhia, 1993; Stauffer e Seaman, 1994; Schwaetzel *et al.*, 2003; Ribeiro, 2008].

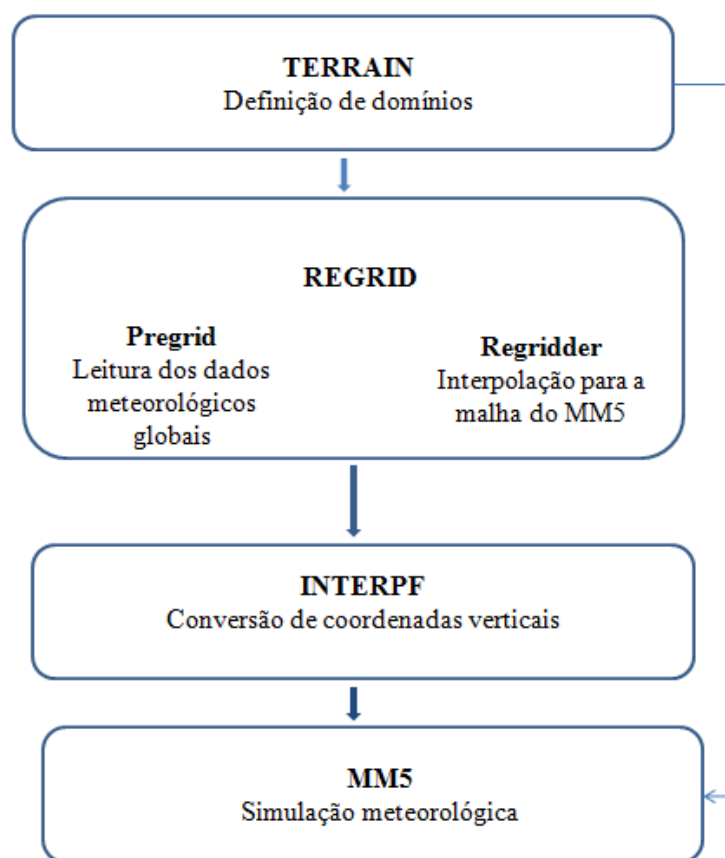
O modelo meteorológico MM5 é, em termos espaciais, tri-dimensional e tem configurações vertical e horizontal específicas, tal como se pode verificar na Figura 2. A configuração da grelha vertical é definida por coordenadas sigma, para que os parâmetros de níveis mais baixos não interceptem a topografia do terreno. Para além da pressão e da velocidade vertical, definida no limite de cada nível vertical, as restantes variáveis são definidas ao nível *half-sigma*, representadas a tracejado na Figura 2 (a).



**Figura 2** - Configuração vertical (a) e horizontal (b) do modelo meteorológico MM5 [Dudhia *et al.*, 2005; Ribeiro, 2008].

<sup>5</sup> MM5 – *Fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model* [Dudhia *et al.*, 2005].

As variáveis escalares horizontais definem-se no centro de cada célula, assim como a componente vertical do vento ( $w$ ), representada na Figura 2 (b). Por outro lado as componentes horizontais do vento são configuradas nos cantos das células, em consequência, a grelha horizontal tem uma configuração Arakawa-Lamb B. Os centros das células referenciam-se com X e os cantos com pontos (Figura 2(b)). O modelo MM5 pode ser aplicado, desde que tenha informação do uso do solo, topografia e meteorologia à escala global ou regional, incluindo o vento, a temperatura, humidade relativa e pressão média ao nível do mar e, caso necessário, dados relativos a radiossondagens e de superfície. Na Figura 3 apresentam-se os módulos inerentes ao modelo e a interligação existente entre estes.



**Figura 3** - Módulos do sistema Penn State/NCAR [Dudhia et al., 2005; Monteiro, 2007, Ribeiro, 2008] (adaptado).

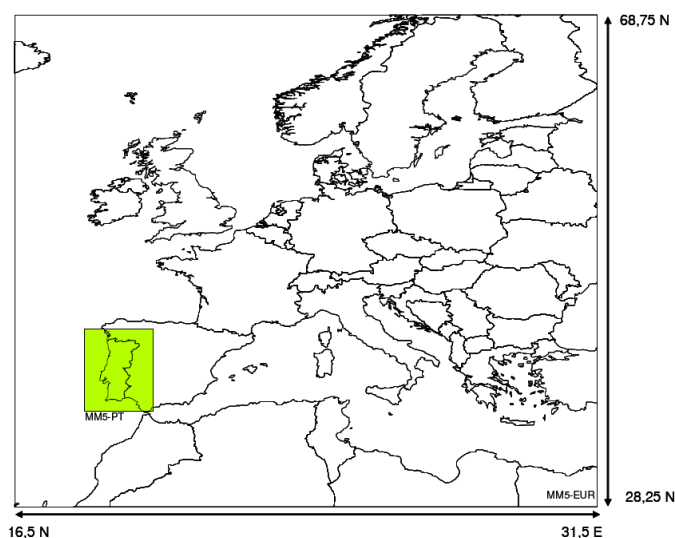
O MM5 inicia-se com o módulo TERRAIN. Tendo o domínio-mãe (dados globais em grelha latitude-longitude) faz a interpolação da topografia e as classes do uso do solo para domínios de mesoscala. Seleccionados os dados pretendidos, estes dão entrada no módulo REGRID. Para a qualidade do ar em Portugal, está a ser utilizada a base de dados global de 25 classes de uso do solo [Monteiro, 2007]. Adicionalmente, o TERRAIN determina algumas constantes necessárias ao sistema de modulação: latitude, longitude, parâmetro de Coriolis e factores de escala dos mapas

associados aos domínios [Dudhia *et al.*, 2005]. O módulo REGRID tem como objectivo interpolar as condições iniciais e de fronteira para os níveis isobáricos da grelha calculada pelo TERRAIN. Neste módulo estão incorporados dois subprogramas principais: Pregrid e Regrid. O primeiro lê os dados meteorológicos e transforma-os para um formato intermédio, o Regrid interpola para a grelha do MM5 as variáveis meteorológicas (temperatura, componentes horizontais do vento, humidade relativa, altura dos níveis de pressão, pressão ao nível do mar e temperatura da superfície do mar) necessárias ao funcionamento do modelo. Numa terceira etapa verifica-se a transformação vertical dos dados meteorológicos, dos níveis isobáricos para coordenadas sigma (sistema de coordenadas do MM5). Esta transformação é realizada pelo módulo INTERPF, criando campos 2D e 3D para a velocidade e direcção do vento, temperatura, humidade, pressão, condições iniciais, de fronteira laterais e de superfície, permitindo o início da simulação meteorológica. Disponibilizando todos os dados necessários e em formato adequado, o módulo de simulação meteorológica MM5 está pronto a ser utilizado. Este módulo tem múltiplas aplicações, fornece dados de temperatura, velocidade e direcção do vento, humidade relativa e radiação, em campos 3D, bem como a altura geopotencial. Para dar resposta a estas aplicações resolve as equações de conservação de massa, da quantidade de movimento e da quantidade de energia.

O MM5, a uma resolução entre os 2 e os 200 km, é usado para estudos que envolvam sistemas de convecção de mesoscala, brisas marítimas, circulação de massas de ar provocadas pela topografia do terreno e zonas urbanas (zonas com temperatura superior à envolvente). O MM5 pode ainda executar em simultâneo e com interacção, múltiplos *nestings*, até nove domínios. Este pode ocorrer de duas formas, num sentido (*one-way nesting*), em que as condições simuladas para o domínio-mãe são usadas para a previsão no domínio mais fino, e em dois sentidos (*two-way nesting*), onde ocorre uma troca de informação entre domínios em cada intervalo temporal, sendo possível refinar os resultados do domínio de menor resolução com base do domínio de maior resolução.

### 3.1.2 Aplicação do modelo

Em Portugal, para a previsão da qualidade do ar, o MM5 é utilizado em duas etapas, recorrendo à técnica de “*one-way nesting*”. A primeira etapa corresponde à escala europeia com uma resolução de  $54 \times 54 \text{ km}^2$  (MM5-EUR) e a segunda etapa corresponde ao domínio de Portugal Continental, com uma resolução de  $9 \times 9 \text{ km}^2$  (MM5-PT), conforme se visualiza na Figura 4 [Monteiro, 2007].



**Figura 4** – Domínio de simulação do modelo MM5 para aplicação no sistema de previsão da qualidade do ar em Portugal Continental [Monteiro, 2007].

As parametrizações [Dudhia *et al.*, 2005] foram escolhidas consoante o tipo de aplicação e resolução espacial pretendidas [Monteiro, 2007], estando compiladas na Tabela 2, em que a negrito estão representadas as adoptadas para o caso português.

**Tabela 2** - Parametrizações físicas disponíveis para o modelo MM5 [Dudhia *et al.*, 2005; Monteiro, 2007; Ribeiro, 2008].

Camada limite planetária	Nebulosidade	Humidade	Radiação	Superfície
1.Buld	1.None	1.Dry	1.Simple cooling	1.Force/Restore
2.High-resolution blackadar	2.Anthes-Kuo	2.Stable-Precip	0 or 1 Surface radiation	(Blackadar)
3.Burk-Thomson	<b>3.Grell</b>	3.Warm Rain	2.Cloud-radiation	<b>2.Five-Layer Soil model</b>
4.Eta	4.Arakawa-Schubert	4.Simple Ice	3.CCM2 radiation	3.NOAH Land-Surface model
<b>5.MRF</b>	5.Fritsch-Chappell	5.Mixed-Phase	4.Rapid Radiation	4.Pleim-Xiu Land-Surface model
6.Gayno-Seaman	6.Kain-Fritsch	<b>7.Reisner Graupel</b>	<b>Transfere Model (RRTM)</b>	
7.Pleim-Chang	7.Betts-Miller	8.Schultz microphysics		
	8.Kain-Fritsch 2			

### 3.2 Modelo químico de transporte – CHIMERE

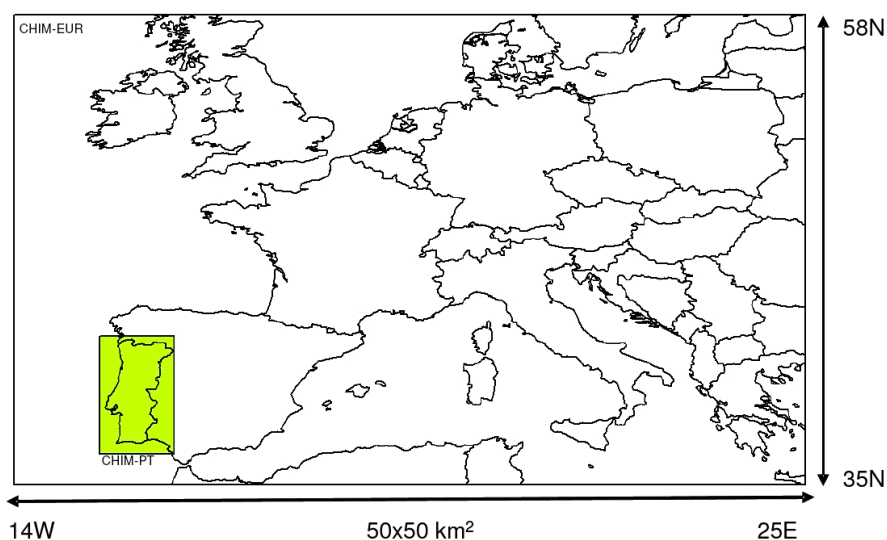
O modelo CHIMERE foi desenvolvido com o objectivo de prever operacionalmente concentrações de ozono, aerossóis e outros poluentes e também para simular situações episódicas e a longo prazo [IPSL *et al.*, 2007]. Este modelo tem sofrido várias alterações de forma a melhorar o seu desempenho, existindo já o CHIMERE 2008, que apresenta novas funcionalidades [URL 2].

Este é um modelo tri-dimensional químico de transporte e baseia-se na equação da conservação de massa para determinar as concentrações das espécies químicas poluentes numa dada célula da matriz adoptada, desde a escala europeia à escala urbana [Schmidt *et al.*, 2001]. A operacionalização deste modelo necessita, como dados de entrada, dos dados meteorológicos provenientes do MM5 e de dados de emissões, para além de dados de uso do solo e de condições fronteira [Monteiro *et al.*, 2007; Ribeiro, 2008].

### 3.2.1 Geometria do modelo CHIMERE

O modelo CHIMERE tem a capacidade de recorrer a técnicas simples de *nesting* e, desta forma, a grelha do modelo pode ser diferente da grelha do modelo MM5, recorrendo-se a interpolações sempre que necessário.

A aplicação do modelo CHIMERE ao sistema de previsão da qualidade do ar para Portugal Continental (Figura 5), utiliza uma grelha horizontal de  $50 \times 50 \text{ km}^2$ , à escala europeia (CHIM-EUR), que através de *nesting*, se interpolam para o domínio português ( $290 \times 580 \text{ km}^2$ ) com uma resolução de  $10 \times 10 \text{ km}^2$  (CHIM-PT) [Monteiro, 2007].



**Figura 5** – Domínio europeu (CHIM-EUR) e português (CHIM-PT) de aplicação do modelo CHIMERE a Portugal Continental [Monteiro, 2007].

O domínio vertical do modelo tem uma extensão de 3 km, dividido em seis níveis de pressão sigma (*sigma*-P) que correspondem, aproximadamente, a camadas com as seguintes alturas de topo: 50, 250, 600, 1200, 2000 e 3000 metros [Monteiro *et al.*, 2005; Ribeiro, 2008].

Os dados provenientes do modelo meteorológico (variáveis meteorológicas e informação relativa à topografia do terreno), (Tabela 3), do inventário de emissões e das condições de fronteira

(modelo climatológico à escala global, GOCART), são interpolados para a grelha do modelo químico [Ribeiro, 2008].

**Tabela 3** – Variáveis meteorológicas necessárias para o modelo CHIMERE e respectivo objectivo [Monteiro, 2007; Ribeiro, 2008].

	Variável	Objectivo
<b>2D</b>	Atenuação da radiação	Química/fotólise
	Velocidade de atrito	Processos de mistura
	Temperatura a 2 metros	Deposição e emissões biogénicas
	Altura da camada de mistura	Processos de mistura e deposição
	Comprimento de Monin-Obukhov	Processos de mistura
	Velocidade convectiva	Processos de mistura
	Resistência aerodinâmica	Processos de mistura
	Taxa de precipitação total	Deposição
		Scavenging <sup>6</sup> de aerossóis
<b>3D</b>	Vento horizontal	Transporte
	Temperatura	Química e termodinâmica
	Massa volúmica	Química e transporte
	Humidade específica	Química e termodinâmica
	Altura dos níveis verticais	Geometria do modelo
	Fracção de água líquida nas núvens	Química em fase aquosa e scavenging de aerossóis

Em relação às emissões, o modelo químico necessita de emissões horárias de 15 espécies principais: NO, NO<sub>2</sub>, HONO, SO<sub>2</sub>, CO, Etano, n-Butano, Eteno, Propeno, Isopropeno,  $\alpha$ -pireno, o-xileno, Formaldaído, Acetaldeído e Metil-etil-cetona [Hodzic *et al.*, 2005; Monteiro *et al.*, 2005; Ribeiro, 2008]. À escala europeia são usadas as emissões anuais do inventário EMEP de 2003 e à escala nacional recorre-se ao Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (INERPA), referente ao ano de 2005 (último ano de actualização mais recente). Ambos os inventários apenas contemplam as emissões antropogénicas [Ribeiro, 2008]. As emissões biogénicas são estimadas por um módulo próprio do modelo CHIMERE, com base na informação meteorológica e nos dados de uso do solo: solos fertilizados [Stohl *et al.*, 1996], tipo e densidade folhosa do domínio [Simpson *et al.*, 1999] em função da temperatura e da insolação. O CHIMERE utiliza, por defeito, a base de dados referentes ao uso do solo da University of Maryland (Global Land Cover Facility - GLCF), com uma malha de 1 km<sup>2</sup> e 14 classes. Estas classes são agrupadas nas 9 que são usadas pelo modelo: agricultura, pastos, vegetação rasteira, lagos e rios, urbano, arbustos, floresta de folha fina, floresta de folha larga e oceano [Monteiro, 2007; Ribeiro, 2008].

<sup>6</sup> *Scavenging* – remoção dos aerossóis pelas gotas da chuva, em função da precipitação e da eficiência de colisão entre as gotas e as partículas de aerossóis [Monteiro, 2007].



As condições fronteira, usadas para a escala europeia, são simuladas pelo modelo climatológico GOCART [Ginoux *et al.*, 2001] de transporte global para as espécies gasosas e aerossóis, respectivamente. Relativamente às espécies particuladas, o modelo GOCART simula 7 espécies como é o caso das poeiras (PM<sub>10</sub>) e dos sais marinhos [IPSL *et al.*, 2007].

O mecanismo químico considerado no modelo CHIMERE inclui os seguintes processos [Schmidt *et al.*, 2001; IPSL *et al.*, 2007; Ribeiro, 2008]:

- Mecanismo químico para espécies gasosas
- Mecanismos químico para aerossóis
- Processos de remoção
- Processos de transporte e mistura
- Atenuação das taxas de fotólise

### 3.3 Divulgação da previsão da qualidade do ar

O sucesso de um programa de previsão da qualidade do ar depende não só da precisão do método de previsão, mas também da sua divulgação ao público-alvo desse programa. No caso do referido sistema de previsão para Portugal, a informação é facultada via Internet [URL 1], para além de outros órgãos de comunicação social (televisão, rádio e imprensa) de modo a fornecer alertas em tempo real à população e reduzir o tempo de exposição à poluição atmosférica [Monteiro, 2007].

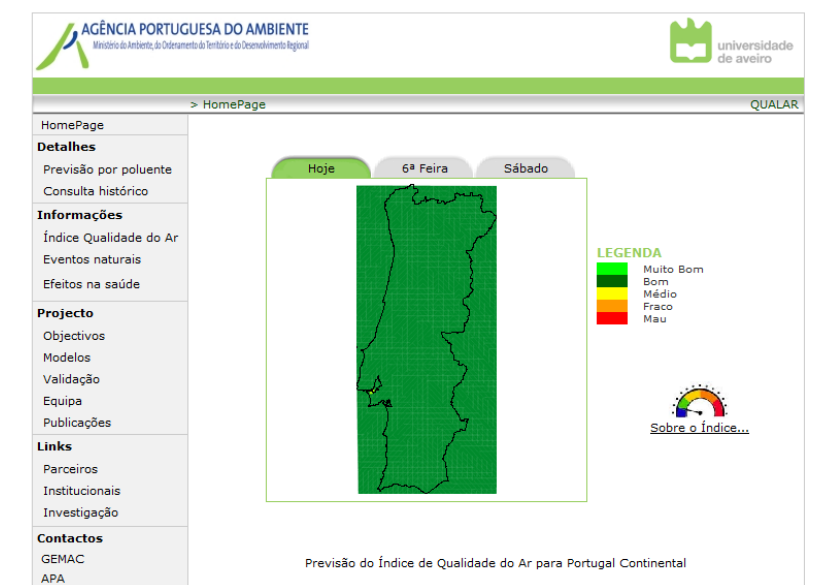
O objectivo da página da internet [URL 1] é disponibilizar, a todo o público, a consulta do índice da qualidade do ar (IQA) previsto para os próximos três dias, ou a pesquisa, inclusivé, de previsões passadas, para além de disponibilizar alguma informação adicional sobre o método de previsão [Monteiro, 2007].

As concentrações de O<sub>3</sub> e PM<sub>10</sub> são apresentadas sob a forma de 5 cores, de acordo com as classes do índice de qualidade do ar (Tabela 4), facilitando a percepção e compreensão por parte do público e permitindo identificar de imediato as regiões mais críticas em termos de qualidade do ar.

**Tabela 4** - Classificação do índice da qualidade do ar, para o ano 2008, relativamente à monitorização e previsão [URL 1].

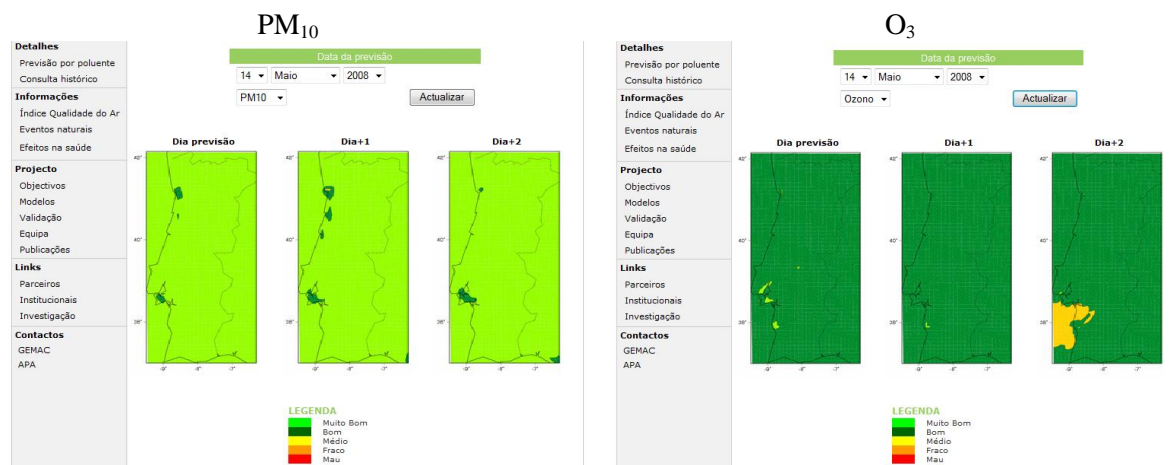
Índice	O <sub>3</sub> (µg.m <sup>-3</sup> )		PM <sub>10</sub> (µg.m <sup>-3</sup> )	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Muito Bom	0	59	0	19
Bom	60	119	20	34
Médio	120	179	35	49
Fraco	180	239	50	119
Mau	240	-	120	-

Apenas as  $PM_{10}$  e o ozono troposférico é que são representados diariamente na previsão do IQA, uma vez que, segundo o histórico de índices, estes são os poluentes responsáveis pelos valores mais elevados de concentração no ar ambiente [URL 1]. O IQA é determinado depois de serem conhecidas as concentrações média diária de  $PM_{10}$  e máxima diária de  $O_3$ . A cor correspondente ao pior IQA encontrado (pior poluente) é representado no mapa de previsão, para todo o Portugal Continental. Na Figura 6 é apresentado, a título de exemplo, a página de entrada com a previsão para o dia 14 de Maio de 2009.



**Figura 6** - Página principal de acesso à previsão da qualidade do ar [URL 3].

Para além do mapa final de previsão, o sistema produz ainda um mapa (Figura 7), representando a cor do IQA para cada poluente individualmente ( $O_3$  e  $PM_{10}$ ), para o mesmo dia 14 de Maio de 2009, depois de, na Figura 6, se seleccionar o menu “Detalhes”.



**Figura 7** - Página de internet de acesso à informação sobre o índice de qualidade do ar previsto para o  $O_3$  e  $PM_{10}$  [URL 3].

A divulgação da qualidade do ar prevista permitirá a definição de estratégias de gestão, tais como planos de acção de curto prazo para evitar que as elevadas concentrações previstas se verifiquem ou, caso estas sejam inevitáveis, elaborar medidas para protecção da saúde humana nas áreas mais críticas.

#### 4. A monitorização da qualidade do ar em Portugal

A qualidade do ar pode ser avaliada por monitorização contínua, com recurso a estações fixas ou campanhas efectuadas com estações móveis, ou ainda através da utilização de modelos ou metodologias que permitam a identificação e implementação de medidas regulamentares de gestão da qualidade do ar [Monteiro, 2007]. A monitorização da qualidade do ar dá cumprimento a aspectos como a verificação da conformidade legal da qualidade do ar, a caracterização da qualidade do ar de uma dada área ou cidade, servindo ainda de base à previsão de episódios de elevada poluição bem como à avaliação da exposição a estas situações episódicas, e constituindo um suporte científico de informação [Larssen *et al.*, 1999; Ribeiro, 2008]. Na realização deste trabalho, a qualidade do ar assume uma elevada importância, uma vez que a avaliação do sistema de previsão é efectuada através da comparação directa com os dados da monitorização e os resultados obtidos pelo sistema de previsão referentes ao mesmo período temporal e à mesma área geográfica [Morrison *et al.*, 2002; Ribeiro, 2008].

Em Portugal, a qualidade do ar é monitorizada através de estações localizadas, quer nas grandes áreas urbanas (áreas de influência de tráfego), quer nas rurais e nas áreas industriais mais relevantes, a funcionar de modo contínuo [Monteiro, 2007]. As redes de monitorização da qualidade do ar têm como principais objectivos:

- Medir e conhecer a concentração dos poluentes no ar;
- Informar sobre a qualidade do ar ambiente através de índices de qualidade do ar;
- Analisar o cumprimento da legislação nacional (valores limite, limiares de informação e alerta);
- Observar a evolução da qualidade do ar;
- Suportar a definição de acções para melhoria da qualidade do ar.

O objectivo principal deste capítulo é a caracterização das estações e avaliar a sua eficiência e classificação (através da análise de dados medidos de  $O_3$  e  $PM_{10}$ , no período 2006-2008) e, ainda, seleccionar um conjunto de estações mais adequadas para o processo de validação realizado posteriormente.

Em Portugal, as redes regionais de monitorização da qualidade do ar, da responsabilidade de cada CCDR<sup>7</sup>, são responsáveis pela vigilância da qualidade do ar da respectiva área. Cada região é dividida em zonas e algumas aglomerações. As redes regionais possuem estações localizadas, quer em centros urbanos, quer próximo de zonas sob influência industrial e são classificadas de acordo com os critérios EUROAIRNET [Larssen *et al.*, 1999], tendo em conta:

- Selecção da área a monitorizar – relativamente à distribuição espacial da população, infraestruturas e tendo em conta o nível de exposição dos elementos anteriores à poluição atmosférica;
- Classificação das estações de monitorização – por tipo de influência ambiental (fundo, industrial ou tráfego), por tipo de zona (suburbana, urbana ou rural) e ocupação do solo;
- Definição da área de representatividade da estação – uma vez que a dimensão da área é função da classificação da estação;
- Selecção dos poluentes a monitorizar e respectivos métodos – os poluentes a seleccionar para cada caso devem ser os mais representativos da qualidade do ar da situação em causa, sendo necessário ter um conhecimento prévio das previsões anteriores (com recurso a métodos de referência ou equivalentes);
- Controlo e garantia de qualidade – através da análise estatística dos dados monitorizados.



**Figura 8** – Distribuição das zonas e aglomerações em Portugal Continental, referentes à monitorização da qualidade do ar [URL 4].

---

<sup>7</sup> CCDR – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional.

Portugal Continental está dividido em 10 zonas e 12 aglomerações, conforme se pode verificar pela análise da Figura 8 [URL 4]. Com a definição das aglomerações e de forma a dar cumprimento às exigências da União Europeia, a APA e as CCDRs definiram os requisitos mínimos para a monitorização da qualidade do ar destas áreas. Assim sendo, cada aglomeração deve ter uma estação de monitorização da poluição atmosférica originada pela actividade de tráfego automóvel e uma estação que não sofra influência directa de fontes emissoras, as denominadas estações de fundo. A actual classificação e caracterização das estações quanto ao tipo de ambiente, influência e localização encontra-se detalhada no Anexo A, tal como é divulgada em [URL 1].

A Figura 9, referente à localização geográfica das estações de monitorização da qualidade do ar, apresenta a distribuição espacial no território nacional das mesmas. Apesar, de ao longo dos vários anos de monitorização ter ocorrido um aumento do número de estações de qualidade do ar [Monteiro, 2007], verifica-se alguma incoerência em termos de cobertura espacial do território nacional. É notória a elevada densidade junto às duas principais aglomerações de Lisboa e Porto e uma cobertura relativamente baixa do interior da zona interior de Portugal.



**Figura 9** – Localização geográfica das estações monitorização da qualidade do ar em Portugal Continental [URL 1].

Para se proceder à avaliação do sistema de previsão da qualidade do ar para Portugal Continental, no ano 2008, os dados de monitorização considerados apenas dizem respeito às estações com influência de fundo. Apenas se seleccionam este tipo de estações, uma vez que as restantes (de tráfego e industriais) não têm uma representatividade tão elevada devido à grelha de simulação do sistema de previsão ( $10 \times 10 \text{ km}^2$ ) [Monteiro, 2007].

#### 4.1 Análise do tipo de estações de monitorização

De seguida, são analisados os dados medidos nas estações com influência de fundo, para os dois poluentes,  $O_3$  e  $PM_{10}$ , durante o período 2006-2008.

Esta análise foca-se na análise dos perfis diários, durante o período de tempo seleccionado. Após esta análise, proceder-se-à ao mapeamento das estações que apresentam na realidade um comportamento de fundo, para verificar se a existência de alguma estrada nas proximidades pode ou não influenciar o tipo de influência da estação. Esta análise permite ainda seleccionar as estações que futuramente vão ser sujeitas ao processo de validação.

Existem zonas de Portugal Continental que apenas apresentam uma estação de monitorização da qualidade do ar, como se pode verificar pela análise da figura apresentada no capítulo 4 (Figura 9), tais como:

- Norte Litoral – Senhora do Minho;
- Norte Interior – Lamas de Olo;
- Braga – Horto;
- Vale do Ave – Santo Tirso;
- Vale do Sousa – Centro Lacticínios;
- ZI Estarreja – Teixugueira (é uma estação de industrial suburbana);
- Aveiro/Ílhavo – Ílhavo;
- Coimbra – Inst. Geofísico de Coimbra;
- Península de Setúbal/Álcacer do Sal – Fernando Pó;
- Alentejo Litoral – Monte Velho;
- Alentejo Interior – Terena;
- Algarve – Cerro;
- Portimão/Lagoa – Pontal;
- Albufeira/Loulé – Malpique;
- Faro/Olhão – Joaquim Magalhães.

Nestes casos, mesmo que, através da análise dos perfis diários da estação, esta não apresente um comportamento típico de fundo, não se poderá excluir a sua avaliação. Por outro lado, existem zonas que apresentam mais que uma estação com carácter de fundo, tais como:

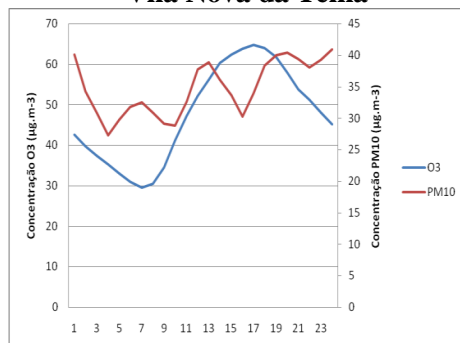
- Porto Litoral – Vila Nova da Telha, Leça do Balio, Ermesinde;
- Centro Interior – Fundão, Forno;
- Centro Litoral – Ervedeira, Montemor-o-Velho;
- Vale do Tejo e Oeste – Chamusca, Lourinhã;
- AML Norte – Alfragide, Reboleira, Beato, Olivais, Restelo, Loures, Quinta do Marquês, Mem-Martins;
- AML Sul – Laranjeiro, Paio Pires;
- Setúbal – Arcos, Camarinha.

Este último conjunto de estações vai ser sujeita à análise da variação diária dos valores horários, ao longo dos três anos em estudo, 2006-2008, de forma a verificar o seu comportamento e

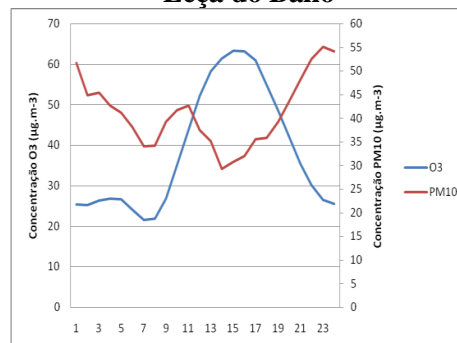
avaliar a sua classificação por tipo de influência e de ambiente. Na Figura 10 apresentam-se os perfis diários médios obtidos para o período seleccionado.

## Zona

### Vila Nova da Telha

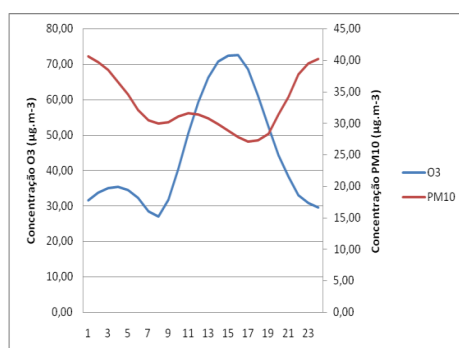


### Leça do Balio

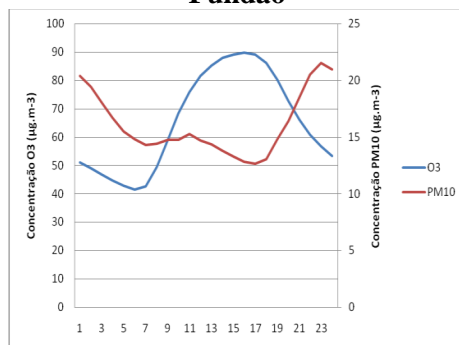


## Porto Litoral

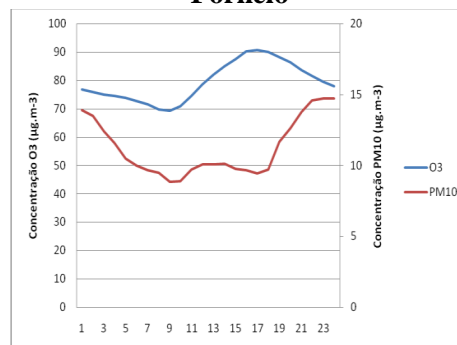
### Ermesinde



### Fundão

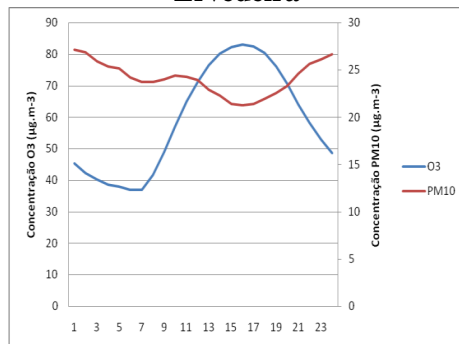


### Fornelo

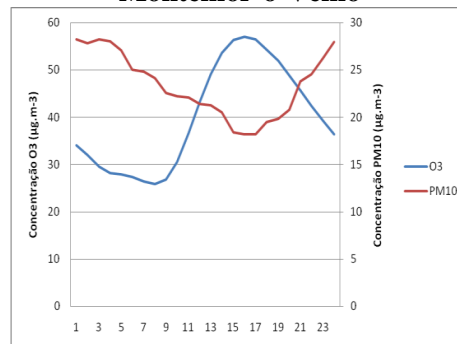


## Centro Interior

### Ervedeira



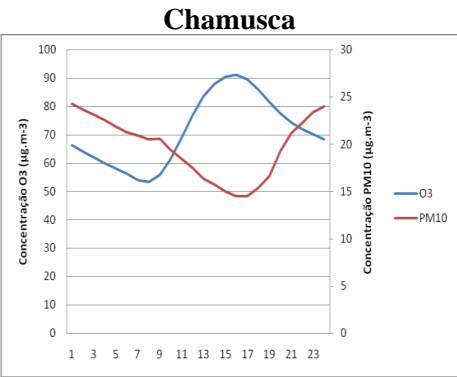
### Montemor-o-Velho



## Centro Litoral



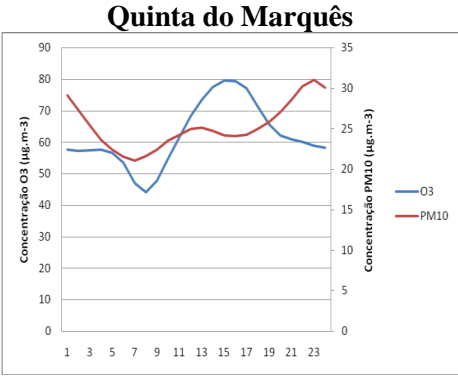
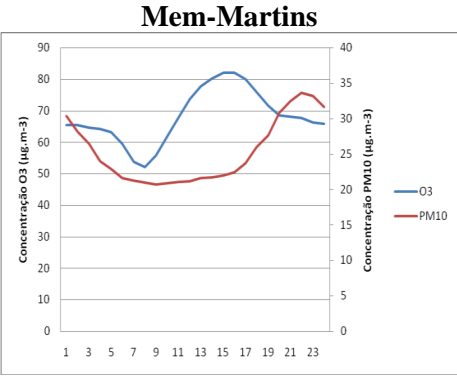
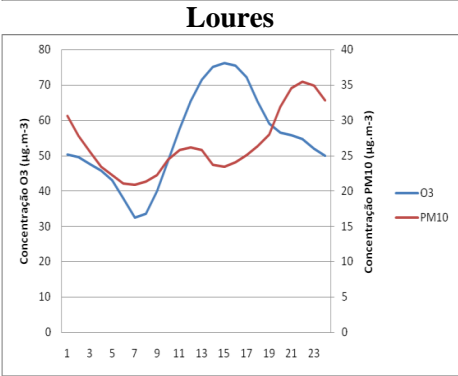
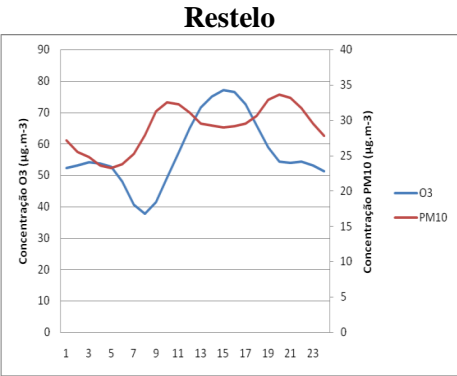
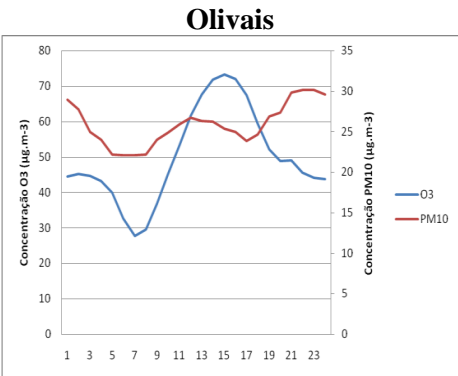
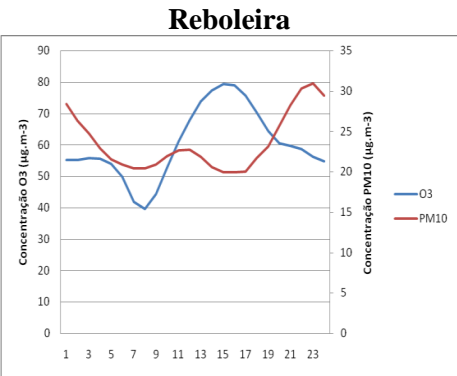
Vale do Tejo e Oeste

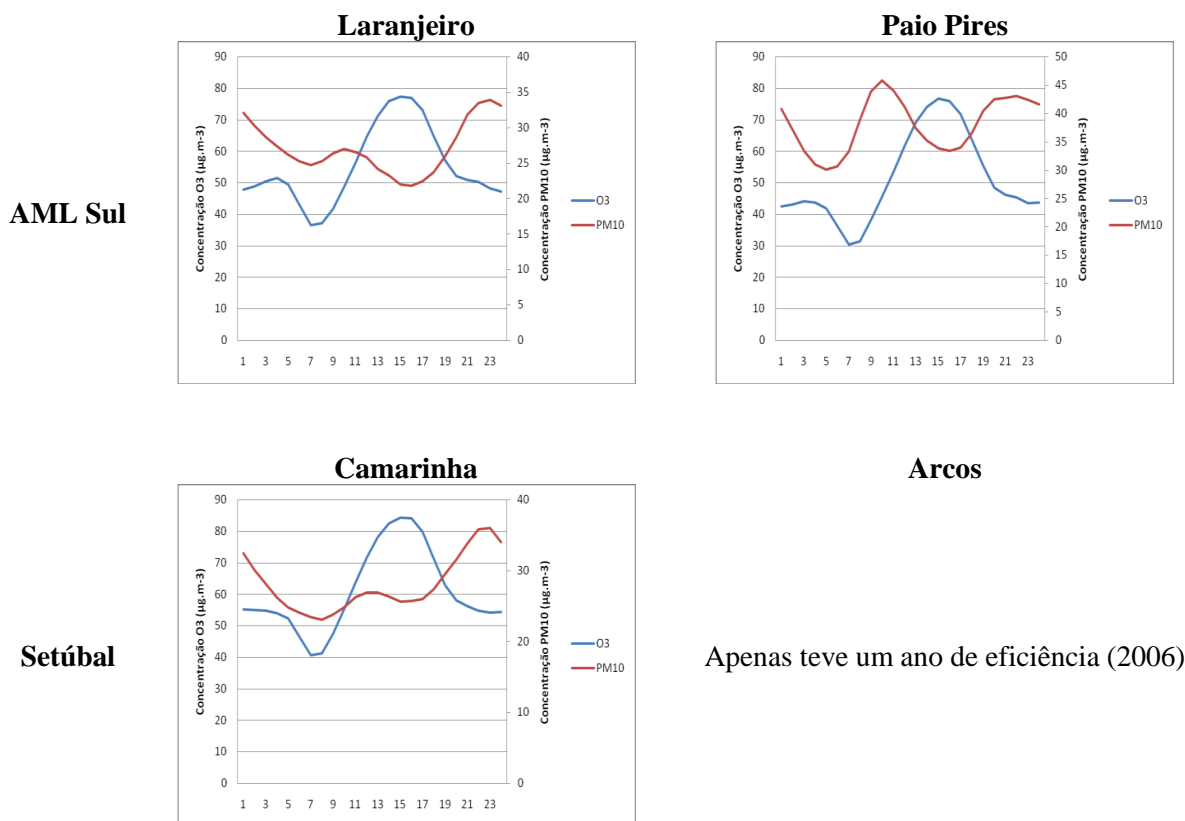


Lourinhã

Não teve eficiência nos três anos

AML Norte





**Figura 10** – Evolução diária dos valores horários de  $O_3$  e  $PM_{10}$ , para o período 2006-2008, para as estações de fundo seleccionadas.

Pela análise dos gráficos verifica-se que nem todas as estações que são denominadas de estações de fundo apresentam na realidade um perfil de fundo. As estações de fundo são caracterizadas por apresentarem baixas concentrações de  $PM_{10}$  e sem significativa oscilação diária (semelhante a uma linha recta); e as concentrações médias de  $O_3$  apresentam um comportamento típico: com um pico nas horas de maior radiação e baixas concentrações nas restantes horas.

Para a zona Porto Litoral, nenhuma das estações apresenta um carácter real de fundo, demonstrando claramente a influência de tráfego nas medições de  $PM_{10}$ , devido à presença de picos nas horas de ponta. No entanto, a estação de Ermesinde é a que se aproxima mais de um comportamento típico de fundo, sendo esta seleccionada para a avaliação realizada à posteriori. Contrariamente, na zona Centro Interior, ambas as estações apresentam um carácter de fundo, não se podendo excluir nenhuma, pois são distintas devido à sua localização.

Para o período seleccionado (2006-2008) as estações que apresentam, pela análise da Figura 10 um comportamento com maior carácter de fundo e que foram seleccionadas para este estudo são:

- Porto Litoral – Ermesinde;
- Centro Interior – Fundão e Fornelo;
- Centro Litoral – Ervedeira;

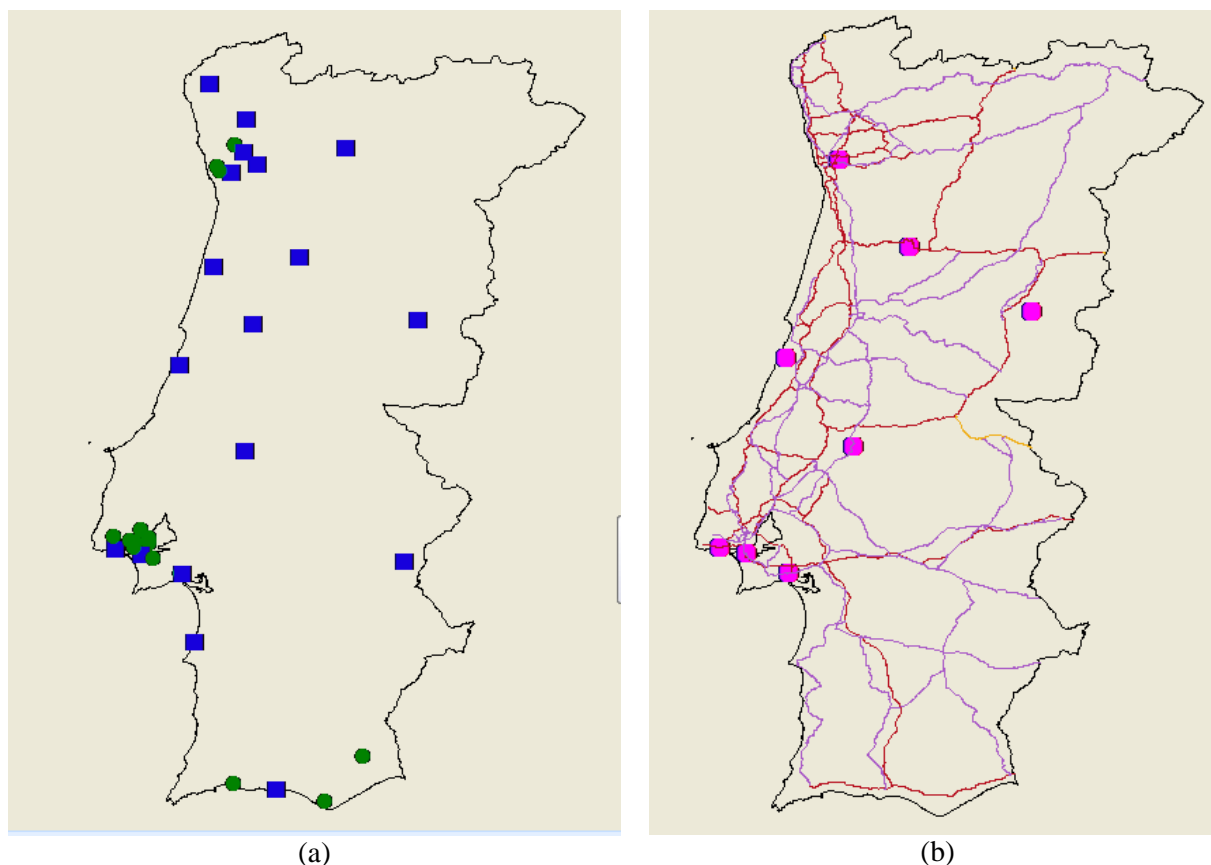
- Vale do Tejo e Oeste – Chamusca;
- AML Norte – Quinta do Marquês;
- AML Sul – Laranjeiro;
- Setúbal – Camarinha.

Através da análise do perfil diário e tendo em conta a localização e a eficiência das estações é possível seleccionar o conjunto de estações que deve ser contemplado na avaliação do desempenho do sistema de previsão, nomeadamente (Figura 11(a), estações a azul):

- Norte Litoral – Senhora do Minho;
- Norte Interior – Lamas de Olo;
- Braga – Horto;
- Vale do Ave – Santo Tirso;
- Vale do Sousa – Centro Lacticínios;
- Aveiro/Ílhavo – Ílhavo;
- Coimbra – Inst. Geofísico de Coimbra;
- Península de Setúbal/Álcacer do Sal – Fernando Pó;
- Alentejo Litoral – Monte Velho;
- Alentejo Interior – Terena;
- Albufeira/Loulé – Malpique;
- Porto Litoral – Ermesinde;
- Centro Interior – Fundão e Fornelo;
- Centro Litoral – Ervedeira;
- Vale do Tejo e Oeste – Chamusca;
- AML Norte – Quinta do Marquês;
- AML Sul – Laranjeiro;
- Setúbal – Camarinha.

Devido à impossibilidade de apresentar os resultados das análises realizadas à posteriori para todas as estações, apenas vão ser apresentados os resultados para as estações que foram seleccionadas através da análise do perfil diário (Ermesinde, Fundão, Fornelo, Ervedeira, Chamusca, Quinta do Marquês, Laranjeiro e Camarinha). As restantes análises estão disponíveis em Anexo (Anexo C até ao Anexo J).

De forma a verificar se a actualização do mapa das estradas de Portugal Continental interfere na classificação das estações seleccionadas como de fundo, recorreu-se ao software ArcView para visualizar ou não essa interferência. Na Figura 11(a) apresenta-se um mapa onde se visualizam as estações seleccionadas, a azul, e as restantes a verde. No segundo mapa estão apenas as estações com carácter de fundo seleccionadas pela análise do perfil diário, com as principais estradas de Portugal Continental, verificando, desta forma, a influência das estradas na classificação das estações.



**Figura 11** – (a) Mapa com as estações de fundo de monitorização da qualidade do ar, em 2008; (b) Mapa com as estações de fundo, seleccionadas a partir da análise do perfil diário, e as principais estradas de Portugal Continental.

A análise da Figura 11(b) permite verificar que as estações que apresenta um carácter real de fundo, através da análise do perfil diário, estão a ser influenciadas pela existência de estradas nas redondezas. Neste mapa, para facilitar a sua visualização, apenas estão representadas as principais estradas de Portugal Continental, assim sendo, caso se introduzissem todas as estradas, verificar-se-ia que todas as estações têm na sua proximidade uma estrada, que vai permitir a interferência de tráfego, influenciando a classificação da estação.

## 5. Desenvolvimento de um procedimento de Garantia e Controlo da Qualidade (GQ/CQ) para a previsão da qualidade do ar

O desenvolvimento de um procedimento de garantia e controlo da qualidade (GQ/CQ) é o objectivo principal deste trabalho. Este é uma ferramenta bastante importante, devido à necessidade dos modelos de qualidade do ar serem avaliados antes de se tomarem como certas as previsões efectuadas, uma vez que da modelação resultam decisões com consequências a nível da saúde humana e económicas. Os procedimentos de GQ/CQ são concebidos para garantir que os métodos e os princípios usados sejam os mais apropriados, que os erros de cálculo e de medição sejam minimizados e que a documentação seja adequada aos objectivos estabelecidos.

A elaboração de um procedimento de GQ/CQ, aplicável ao sistema de modelos de previsão, envolve várias etapas a ter em conta [Borrego *et al.*, 1998], tal como descritos na Tabela 5.

**Tabela 5** – Etapas fundamentais à elaboração de um procedimento GQ/CQ aplicável à previsão qualidade do ar.

<b>Etapas</b>	<b>Aplicação a um sistema de previsão da qualidade do ar</b>
<b>1. Verificação</b>	Análise SWOT
<b>2. Validação</b> – comparação com dados monitorizados de qualidade do ar	Análise Qualitativa (Gráficos) Análise Quantitativa (Parâmetros estatísticos)
<b>3. Testes de sensibilidade</b>	Análise de melhorias inerentes ao sistema de previsão
<b>4. Análise de incertezas</b>	Análise da concordância de índices e indicadores desempenho
<b>5. Intercomparação de modelos</b>	Análise Qualitativa - Gráficos Análise Quantitativa – Parâmetros estatísticos

O conjunto de procedimentos proposto neste trabalho seguiu as várias etapas identificadas, cuja aplicação ao sistema de previsão é descrita em detalhe de seguida.

### 5.1 Verificação do sistema de previsão

Nesta etapa inicial, é necessário um conhecimento prévio do sistema de previsão que se está a avaliar, de forma a possibilitar a identificação dos aspectos positivos do mesmo, não esquecendo as fraquezas associadas à necessidade de se realizar aproximações, que permitem a

representação da realidade. A forma mais indicada para identificar e compreender as falhas e potencialidades inerentes ao sistema de previsão é através de uma análise SWOT. Esta é uma ferramenta de gestão muito utilizada para o diagnóstico estratégico de um dado sistema [URL 5]. O termo SWOT é composto pelas iniciais das palavras *Strenghts* (Pontos Fortes), *Weaknesses* (Pontos Fracos), *Opportunities* (Oportunidades) e *Threats* (Ameaças).

## 5.2 Validação do sistema de previsão

Depois de se verificar se o sistema de modelos respeita os objectivos requeridos, é necessário confrontar os dados disponibilizados pelo modelo (as previsões) com os dados monitorizados. Para tal, dois tipos de análise são importantes: a análise qualitativa (análise gráfica) e a análise quantitativa, na qual se utilizam parâmetros estatísticos específicos.

De seguida, apresenta-se o esquema com as directrizes a ter em linha de conta para a realização da validação do sistema de previsão, de acordo com estes dois tipos de análises:

### i. Avaliação qualitativa (análise gráfica)

- Séries temporais – permitem comparar visualmente, com recurso a ferramentas gráficas, as concentrações simuladas e observadas ao longo do tempo;
- “Scatter plots” – permitem correlacionar visulamente, com recurso a ferramentas gráficas, as concentrações observadas e simuladas.

### ii. Avaliação quantitativa – análise estatística

Os parâmetros estatísticos mais usados [Hanna *et al.*, 1993; Borrego *et al.*, 2008] apresentam-se na tabela seguinte (Tabela 6), juntamente com as respectivas expressões e a gama de valores aceitáveis e ideais.

**Tabela 6** – Parâmetros estatísticos específicos para a validação do sistema de previsão, com as respectivas equações, gama de valores aceitáveis e os valores ideais.

Parâmetro	Equação	Gama valores aceitáveis	Valor ideal
<b>Factor de correlação (r)</b>	$r = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 (P_i - \bar{P})^2}}$	0-1	1.0
<b>Erro quadrático médio (EQM)</b>	$EQM = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}$	n.a.	0.0
<b>Erro sistemático médio (BIAS)</b>	$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)$	n.a.	0.0

<b>Erro sistemático médio fraccional (FB<sup>8</sup>)</b>	$FB = \frac{\bar{O} - \bar{P}}{0.5(\bar{O} + \bar{P})}$	(-2)-2	0.0
<b>Desvio padrão normalizado (NSD<sup>9</sup>)</b>	$NSD = \frac{\sigma_P}{\sigma_O}$	0-1	1.0
<b>Erro quadrático médio normalizado (NMSE<sup>10</sup>)</b>	$NMSE = \frac{(\bar{O} - \bar{P})^2}{\bar{O}\bar{P}}$	n.a.	0.0
<b>Média absoluta do erro quadrático médio normalizado (ANB<sup>11</sup>)</b>	$ANB = \left( \frac{ \bar{O} - \bar{P} }{\bar{O}} \right)$	n.a.	0.0
<b>Média geométrica do erro sistemático médio (MG<sup>12</sup>)</b>	$MG = \exp(\ln \bar{O} - \ln \bar{P})$	>0.0	1.0
<b>Variância geométrica (VG<sup>13</sup>)</b>	$VG = \exp\left[\left(\ln \bar{O} - \ln \bar{P}\right)^2\right]$	>0.0	1.0
<b>Índice de concordância (d)</b>	$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{O})^2 + (O_i - \bar{O})^2}$	0-1	1.0

O coeficiente de correlação (r) traduz a relação linear entre as concentrações observadas e as previstas, permitindo avaliar se as duas variáveis em estudo variam da mesma forma ao longo do tempo, isto é, se estão correlacionadas entre si. Este parâmetro pode assumir qualquer valor no intervalo [-1,1], estando próximo dos extremos quando a relação entre as duas variáveis é forte e próxima da linear. Os parâmetros BIAS e EQM são indicativos do desvio existente entre as concentrações simuladas e observadas, em termos sistemáticos (BIAS) e em termos absolutos (EQM), sendo zero o valor ideal para ambos. Com o BIAS é possível saber qual a tendência dos erros cometidos pelo modelo (BIAS negativo demonstra que o modelo tem tendência para sobrestimar as concentrações enquanto BIAS positivo demonstra a tendência para subestimar as concentrações) enquanto o EQM permite avaliar a magnitude desses mesmos erros [Monteiro, 2007; Ribeiro, 2008]. Como a maioria das concentrações de poluentes atmosféricos se aproxima de uma distribuição log-normal, medidas lineares como FB e NMSE podem ser altamente influenciadas por picos de concentrações. Assim, MG e VG podem promover um tratamento mais equilibrado nos valores extremos, ao usarem o logaritmo das concentrações. FB e MG são medidas que indicam apenas os erros sistemáticos. NMSE e VG são medidas que reflectem tanto erros sistemáticos como erros não sistemáticos, mas não são medidas de cálculo directo destes erros. O

<sup>8</sup> FB – *Fraccional Bias*.

<sup>9</sup> NSD – *Normalized standard deviation*.

<sup>10</sup> NMSE – *Normalized mean square error*.

<sup>11</sup> ANB – *Average Normalized Absolute Bias*.

<sup>12</sup> MG – *Geometric Mean Bias*.

FB é uma medida simétrica e é número adimensional, o que é conveniente para comparar os resultados que envolvem diferentes níveis de concentração, ou até parâmetros químicos distintos. O NSD é a fracção entre o desvio padrão das concentrações previstas e o desvio padrão das concentrações observadas [Borrego *et al.*, 2008], permitindo comparar a variância inerente a cada série de dados.

É possível agrupar alguns parâmetros estatísticos, nomeadamente o FB, ANB e MG, uma vez que todos reflectem as diferenças existentes entre a média dos resultados medidos e simulados. Estes três parâmetros contribuem com o mesmo tipo de informação, no entanto o FB é o parâmetro usado mais frequentemente [Borrego *et al.*, 2008]. O EQM e NMSE também podem ser agrupados, uma vez que ambos dão informação sobre os erros obtidos com o par de dados observado-previsto. No entanto, a forma normalizada do parâmetro NMSE pode em alguns casos ser a mais adequada, uma vez que o EQM pode ignorar a gama da variável, podendo levar a interpretações incorrectas da realidade, como acontece no caso do O<sub>3</sub> [Borrego *et al.*, 2008].

Baseado nas ideias apontadas, é possível verificar que todos os parâmetros estatísticos referidos têm um papel na avaliação do desempenho do modelo e na estimativa de incertezas, no entanto, alguns deles são considerados mais importantes, nomeadamente: r, EQM, BIAS, FB e NMSE [Borrego *et al.*, 2008].

### 5.3 Testes de sensibilidade

Os testes de sensibilidade dizem respeito à avaliação de melhorias propostas, isto é, são introduzidas novas condições e parametrizações que, em princípio, possibilitam o aumento do desempenho do mesmo. Estes testes são importantes porque permitem o desenvolvimento de um procedimento de melhoria contínua, sendo desta forma possível uma aproximação mais fidedigna da realidade. Neste tipo de situações, e relativamente ao sistema de previsão, testes como a avaliação do aumento da resolução da malha de simulação, actualização do inventário de emissões, outras parametrizações físicas e associação a outros modelos (químico ou para condições fronteira), são exemplos de testes de sensibilidade que podem ser efectuados.

### 5.4 Análise de incertezas

A incerteza é um ponto crucial para a garantia e controlo de qualidade de um modelo de previsão. A incerteza total de um modelo é definida como a soma da incerteza associada ao modelo, a incerteza associada aos dados de entrada e a variabilidade, intrínseca do fenómeno simulado. No entanto, dada a dificuldade em determinar estas incertezas independentemente, é vulgar estimar o total destas incertezas [Borrego *et al.*, 2008].

---

<sup>13</sup> VG – Geometric Variance.



Em termos de legislação, a estimativa de incerteza na modelação é definida pela Directiva 2008/50/CE como o “desvio máximo dos níveis de concentração medidos e calculados durante todo o período considerado pelo valor limite (para todos os percentis  $p$ ), sem ter em conta a sequência dos acontecimentos”, isto é ignorando o intervalo de tempo usado e simulado no processo de modelação numérica (que pode ir de 1 hora a mais de 365 dias) [Monteiro, 2007]. Esta medida de incerteza deve respeitar os objectivos de qualidade definidos para cada poluente e é directamente expressa pelo parâmetro RME<sup>14</sup> (erro relativo máximo).

$$RME = \frac{\max_{p=1 \rightarrow N} (|O_p - P_p|)}{O_{p=p(\max)}} \quad (5.1)$$

A questão de tempo é relevante quando se trata de valores limite horários e diários. Para além disso, os requisitos de aceitação do modelo são dados como incertezas relativas, sem uma clara indicação de como calcular essa relatividade [Borrego *et al.*, 2008; Monteiro, 2007]. Assim sendo, Flemming e Stern [2007] sugerem uma modificação ao cálculo desta incerteza, definindo um erro relativo para cada um dos percentis ( $p$ ) estabelecidos pela legislação como valores limite de concentração, eliminando assim o problema de escala temporal. Este novo parâmetro é definido como RPE<sup>15</sup> (erro relativo percentual), e pode ser expresso segundo a fórmula:

$$RPE = \frac{|O_p - P_p|}{O_p} \quad (5.2)$$

onde  $O_p$  representa o valor do parâmetro (percentil  $p$ ) determinado a partir das observações e  $P_p$ , o valor do mesmo percentil (percentil  $p$ ) estimado a partir dos resultados do modelo.

Tendo em conta a restrita aplicabilidade destes dois parâmetros para os percentis legislados, o seu uso muito dificilmente permitirá definir a incerteza de um modelo. Assim sendo, neste capítulo vão ser abordados três parâmetros específicos para a avaliação da qualidade do ar, definidos pela APA:

- **Concordância de índices:** quantificando a percentagem de dias em que o IQA previsto corresponde ao observado;

---

<sup>14</sup>RME - Relative Maximum Error.

<sup>15</sup> RPE – Relative Percentil Error.

- **Falso alarme para os IQA fraco e mau:** traduz a percentagem de dias em que se previu erradamente que a qualidade do ar iria estar compreendida num dos dois piores índices (fraco e mau);
- **Probabilidade de detecção dos IQA fraco e mau:** representação da quantidade de dias em que o sistema previu correctamente uma qualidade do ar fraca ou má, possibilitando o aviso antecipado da população para tal situação e o accionamento de medidas preventivas.

Estes parâmetros, não determinam directamente a incerteza associada ao modelo, mas é possível com os seus resultados, tirar ilações sobre o desempenho do modelo e da sua precisão em termos de previsão das concentrações dos poluentes em estudo, uma vez que o sistema em estudo é relativo a um sistema de previsão.

### 5.5 Intercomparação de modelos de previsão da qualidade do ar

A intercomparação de modelos é um processo bastante importante na avaliação do desempenho de um dado modelo pois permite detectar possíveis erros inerentes a cada modelo, promovendo o desenvolvimento para a melhoria da previsão da qualidade do ar. Para esta fase é essencial o conhecimento detalhado de cada um dos modelos em questão, de forma a saber interpretar correctamente as diferenças e os resultados encontrados. Havendo diferentes modelos a prever a qualidade do ar para o mesmo local, a sua conjugação (*ensemble*) pode diminuir o erro associado a essa previsão. Este é um dos grandes desenvolvimentos actualmente em curso e meta a atingir para vários sistemas de previsão.

Para a intercomparação de modelos podem usar-se duas ferramentas de análise de dados, a avaliação qualitativa, através da visualização gráfica do desenvolvimento dos modelos ao longo do tempo e a avaliação quantitativa, que permite quantificar as diferenças encontradas (através de parâmetros estatísticos). Os parâmetros que se consideram fundamentais para este processo são o coeficiente de correlação, o erro quadrático médio e o erro sistemático médio [Borrego *et al.*, 2007], já que permitem, por um lado avaliar o desvio absoluto (em termos de grandeza/módulo), o desvio sistemático (em termos positivos e negativos) e o modo como se correlacionam (variabilidade entre os dois).

## **6. Aplicação do procedimento GQ/CQ ao sistema de previsão MM5-CHIMERE**

Dado que o objectivo deste trabalho é o desenvolvimento de um procedimento GQ/CQ e a sua aplicação ao caso do sistema de previsão MM5-CHIMERE, neste capítulo são aplicados, em pormenor, as etapas definidas anteriormente. Inicialmente, apresenta-se uma aplicação da verificação do sistema, sistematizada por uma análise SWOT. No que diz respeito à validação do sistema de previsão MM5-CHIMERE serão usados os dados referentes ao ano 2008, das concentrações previstas e monitorizadas nas estações de fundo de qualidade do ar que foram pré-seleccionadas no capítulo 4 (subcapítulo 4.2.1). Posteriormente analisam-se as incertezas associadas ao sistema de previsão, através da aplicação de três parâmetros, concordância de índices e indicadores de desempenho. Por fim, e para dar resposta a todas as etapas do procedimento de garantia e controlo da qualidade realiza-se a intercomparação do sistema de modelos, com dois sistemas de previsão operacionais para Portugal. Devido a limitações de tempo, não foi possível terminar a realização de alguns testes de sensibilidade planeados, nomeadamente no que diz respeito à malha de resolução e à actualização do inventário de emissões.

### **6.1 Verificação do sistema de previsão MM5-CHIMERE**

#### **6.1.1 Análise SWOT**

De seguida apresenta-se uma análise SWOT aplicada ao sistema de previsão, que permite identificar as maiores valências e falhas deste sistema de previsão, de forma a ser possível criar-se estratégias e melhorias ao sistema, que possibilitem a maximização das oportunidades e pontos fortes do sistema de modelos, minimizando as ameaças e os efeitos provenientes dos pontos fracos existentes.

Na Tabela 7 está resumida a análise SWOT, demonstrando a interligação dos pontos fortes com as potencialidades e fraquezas e, por outro lado, a interligação dos pontos fracos com as potencialidades e fraquezas.

**Tabela 7** – Análise SWOT aplicada ao sistema de previsão MM5-CHIMERE.

	<b>Pontos Fortes</b>	<b>Pontos Fracos</b>
<b>Potencialidades</b>	<p>Incorporação do cálculo da exposição no modelo de previsão da qualidade do ar;                      Previsão da qualidade do ar para três dias;                      Capacidade de realizar múltiplos <i>nesting</i>;                      Mecanismos químicos: para espécies gasosas e aerossóis;                      Processos de transporte e mistura;                      Actualização de todos os processos físicos e químicos em intervalos de tempo definidos (TWOSTEP);                      Modelo actualmente em desenvolvimento sob várias vertentes e em diversos grupos de investigação;                      Modelo de emissões biogénicas incorporado.</p>	<p>Trata-se de um modelo “off-line” em termos de meteorologia;                      Os aerossóis encontram-se divididos em apenas 6 tamanhos de partículas;                      As emissões de poeiras não são contabilizadas;                      As emissões de sais marinhos não são contabilizadas.</p>
<b>Ameaças</b>	<p>Necessidade de emissões horárias relativas a 15 espécies (gasosas e particuladas);                      A nova versão do modelo requer uma maior capacidade computacional.</p>	<p>Não considera o efeito do albedo dentro do domínio simulado (cobertura nublada acima do domínio);                      Processos de ressuspensão não foram incluídos na simulação devido à elevada incerteza associada;                      O perfil temporal aplicado às emissões é um perfil médio europeu;                      Para resoluções mais pequenas há problemas associados à simulação/parametrização da camada de mistura.</p>

A avaliação realizada durante os primeiros anos de funcionamento do sistema de previsão revelou que este tem apresentado um bom desempenho em relação aos objectivos definidos, ou seja tem fornecido de forma adequada os valores das concentrações de determinados poluentes (gases e aerossóis). Apesar do desempenho do sistema de modelos ser satisfatório, existem algumas limitações e fragilidades que poderão interferir nos resultados. O modelo apresenta algumas limitações relacionadas principalmente com as aproximações associadas aos dados de uso do solo, topografia, condições fronteira, entre outras [Monteiro *et al.*, 2005; Monteiro *et al.*, 2007]. A necessidade de simular a realidade exige que algumas aproximações sejam feitas, influenciando

o desempenho do sistema de modelos. Outro aspecto a ter em conta, e que é geralmente uma das maiores fontes de incerteza, são os dados de emissões. Esta é uma componente fundamental para a modelação física e química da atmosfera [Monteiro, 2007], possibilitando a identificação de fontes e actividades poluidoras e servindo de apoio para a definição de medidas mitigadoras e para a gestão da qualidade do ar. Para a obtenção das emissões recorre-se vulgarmente a factores de emissão, uma vez que só se encontra disponível um reduzido número de emissões monitorizadas. Estes factores de emissão são aplicados a valores representativos da actividade das fontes poluentes e relacionados directamente com o seu nível de actividade, segundo a expressão [Monteiro, 2007]:

$$\text{Emissão} = [\text{Factor de emissão}] \times [\text{Nível de actividade}]$$

Esta expressão esconde a complexidade associada à sua aplicação, quer no que diz respeito aos factores de emissão necessários para cada tipo de fonte, quer à obtenção de níveis de actividades adequados, em particular para resoluções espaço-temporais finas. Por esta razão, a desagregação, quer espacial, quer temporal, dos valores disponíveis, mediante aproximações empíricas, constitui um procedimento corrente [Monteiro *et al.*, 2001]. O módulo numérico de aerossóis também é um ponto fraco do sistema de previsão, uma vez que os aerossóis se encontram divididos em apenas seis tamanhos, o que pode promover a maior formação de  $\text{PM}_{2.5}$ , influenciando directamente as concentrações previstas, havendo um possível desajuste da realidade. Com o desenvolver deste trabalho, será possível perceber, de forma mais concreta, as limitações do sistema de modelos, principalmente relacionadas com as emissões de partículas.

O facto do sistema de previsão possuir um modelo de emissões biogénicas incorporado e os processos de mistura e transporte necessários para uma maior representatividade da realidade, permite a obtenção de resultados mais fidedignos.

## 6.2 Validação do sistema de modelos determinístico MM5-CHIMERE

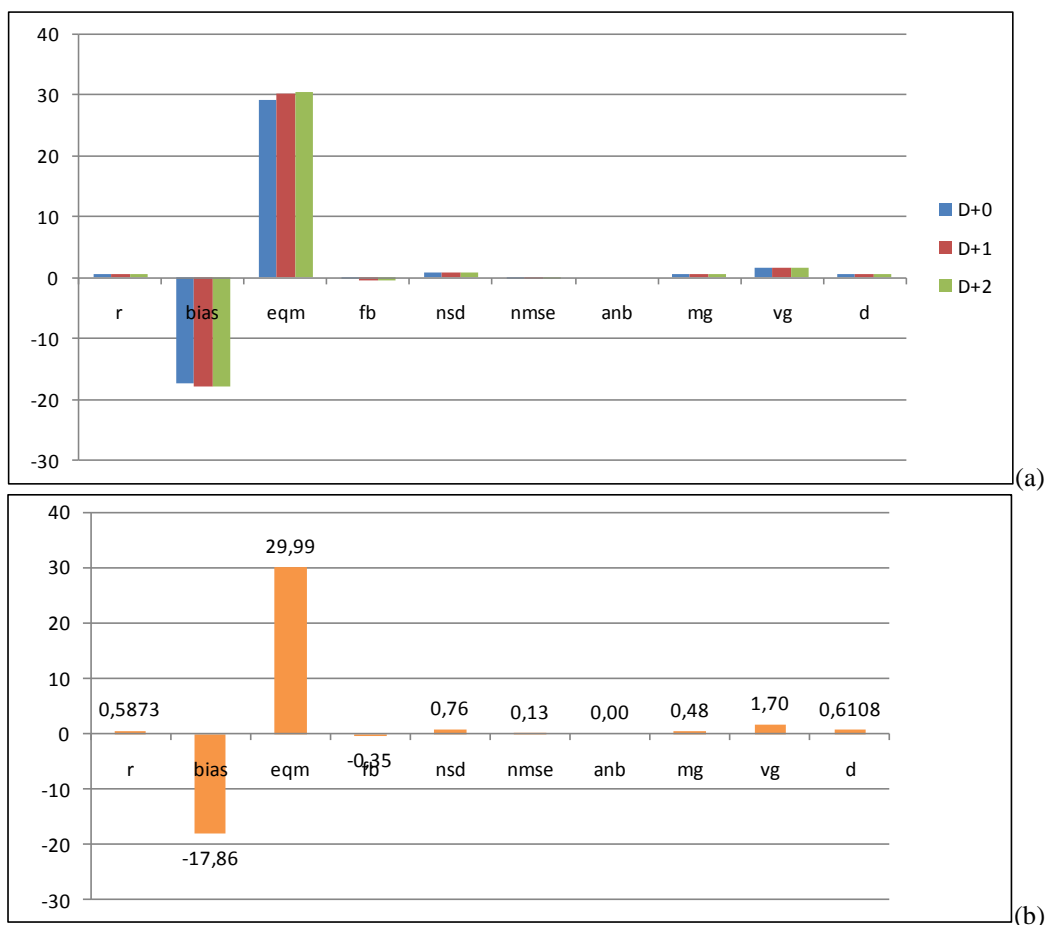
Tendo em conta os actuais níveis de poluição, os poluentes considerados na validação são os mais críticos em termos de excedências:  $O_3$ ,  $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$ . O sistema de previsão, desde a sua operacionalização, tem sido alvo de avaliações, analisando apenas dois poluentes ( $O_3$ ,  $PM_{10}$ ), uma vez que estes apresentam maiores preocupações tanto para a qualidade do ar, como para a saúde humana, devido às elevadas concentrações registadas, mas com a nova directiva-quadro (Directiva 2008/50/CE) passou a ser obrigatório medir-se as concentrações de  $PM_{2.5}$  e, por isso é relevante analisar-se também este poluente.

Para a validação do sistema de previsão, apenas se utilizaram as estações de fundo seleccionadas no capítulo 4 (subcapítulo 4.2.1). Tal como já referido, as restantes estações (tráfego e industriais) não são representativas da grelha de simulação do sistema de previsão ( $10 \times 10 \text{ km}^2$ ). Devido à impossibilidade de se apresentar todos os resultados da validação do sistema de previsão, apenas vão ser focadas as zonas que foram sujeitas à avaliação do perfil diário, nomeadamente Porto Litoral, Centro Interior, Centro Litoral, Vale do Tejo e Oeste, AML Norte, AML Sul e Setúbal os restantes resultados apresentam-se discriminados no Anexo C, Anexo D e Anexo E, para  $O_3$ ,  $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$ , respectivamente.

### 6.2.1 Ozono

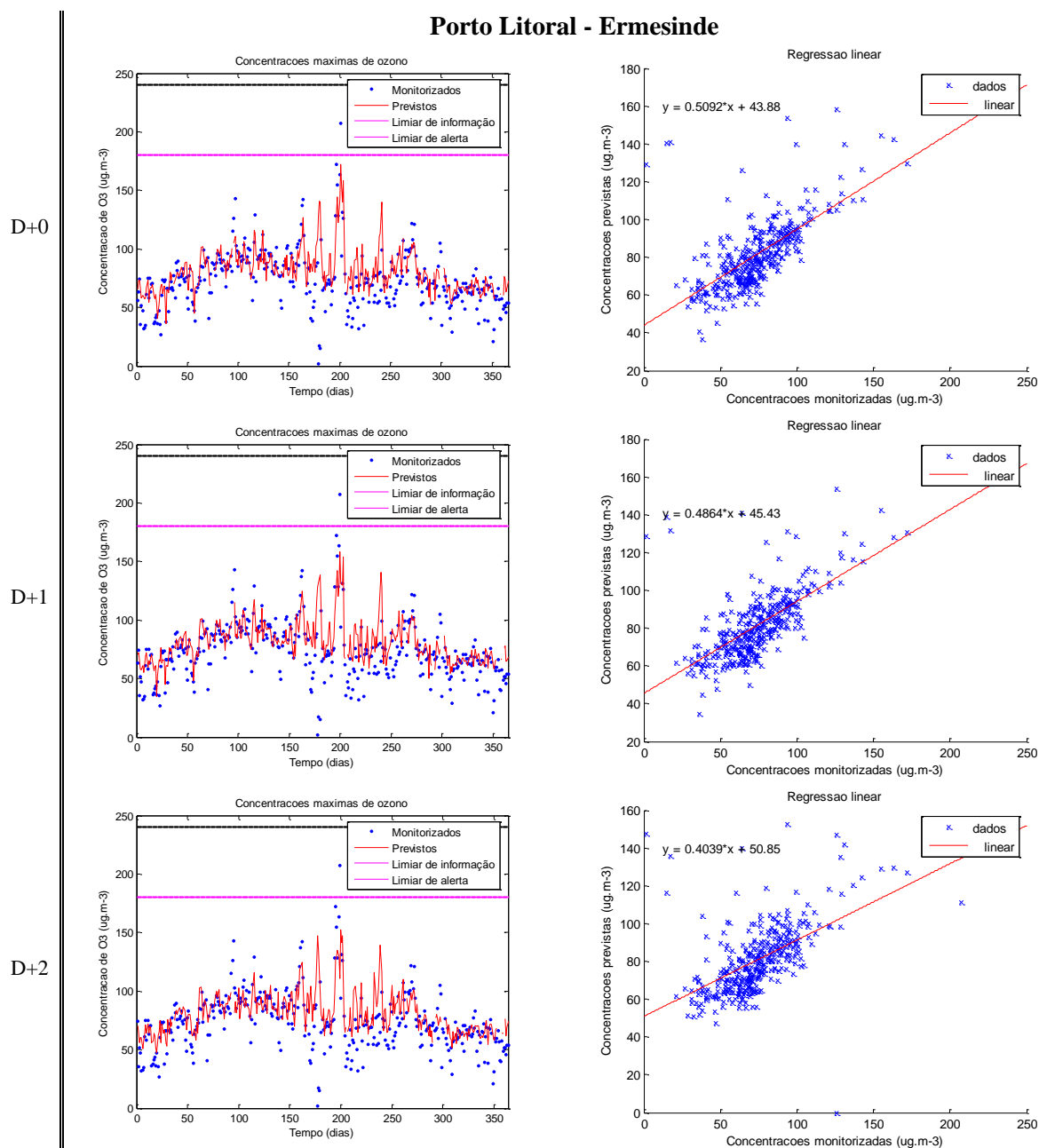
Para cada uma das oito estações de fundo, apresenta-se um gráfico com os parâmetros estatísticos (análise quantitativa) seleccionados, referentes a cada um dos dias de previsão e um gráfico com a média para os três dias de previsão. Os parâmetros estatísticos são calculados recorrendo às concentrações horárias. Para a análise qualitativa escolheram-se dois tipos de gráficos, as séries temporais e “scatter plots”. Nas séries temporais, apresenta-se a evolução com as concentrações máximas horárias, monitorizadas e previstas. No gráfico das séries temporais, ainda se apresentam os valores referentes ao limiar de informação ( $180 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) e ao limiar de alerta ( $240 \mu\text{g.m}^{-3}$ ). No “scatter plots” é possível observar qual a correlação existente entre as concentrações máximas horárias observadas e simuladas.

Porto Litoral – Ermesinde



**Figura 12** - Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Ermesinde.

Na Figura 12(a) verifica-se a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $O_3$  (bias negativo), com uma amplitude de erro elevada (~30). O coeficiente de correlação e o índice de concordância apresentam valores na ordem dos 0,6. Os restantes parâmetros, FB e MG afastam-se dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes são superiores. O valor elevado para Vg (~1,7) reflecte a existência, tanto de erros sistemáticos como aleatórios nos dados (Tabela C.6, Anexo C). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.

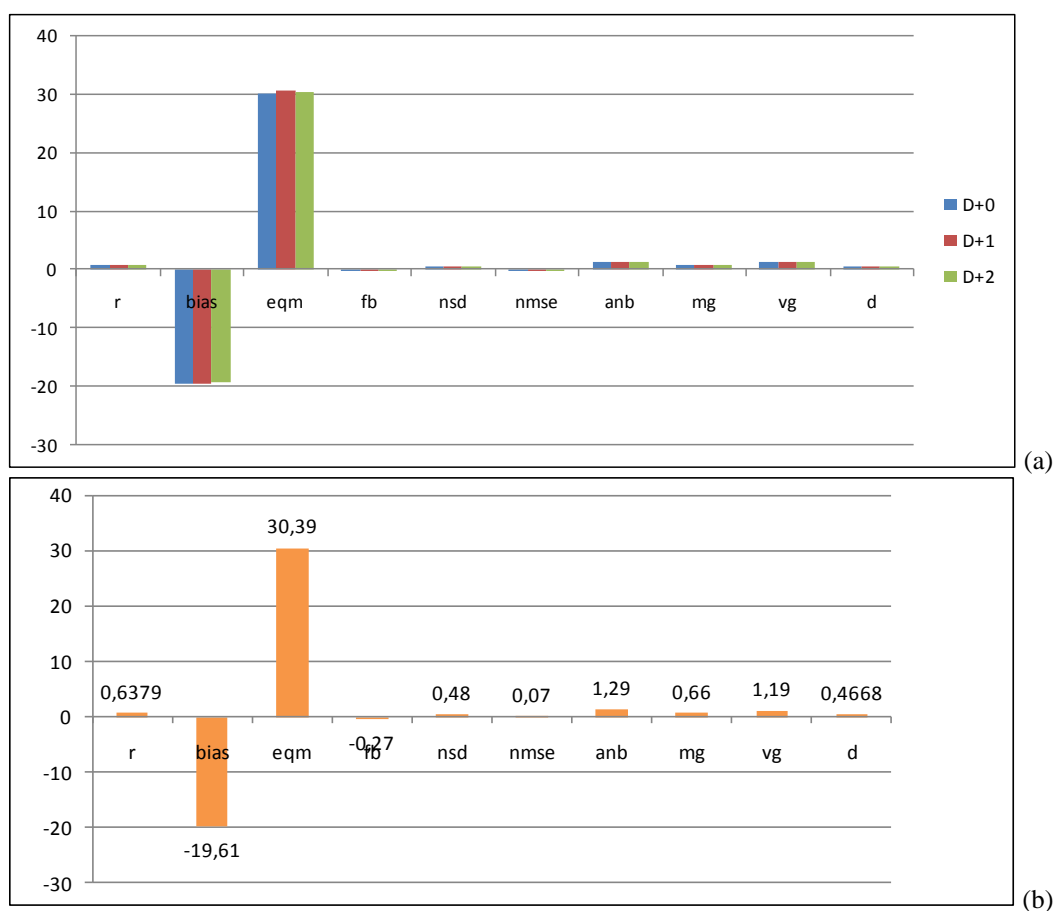


**Figura 13** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

Através da visualização gráfica (séries temporais) é possível comprovar que o sistema de previsão está a sobrestimar as concentrações, não conseguindo alcançar os picos máximos e mínimos de concentração de  $\text{O}_3$  monitorizados. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são bastante idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas ( $y=0,5092x+43,88$  e  $y=0,4864x+45,43$ ), respectivamente. Para o último dia de previsão, há maior dispersão dos dados em torno da recta, havendo uma diminuição do desempenho do sistema de previsão para D+2, como se pode verificar pela recta de regressão linear que se distingue das restantes ( $y=0,4039x+50,85$ ).

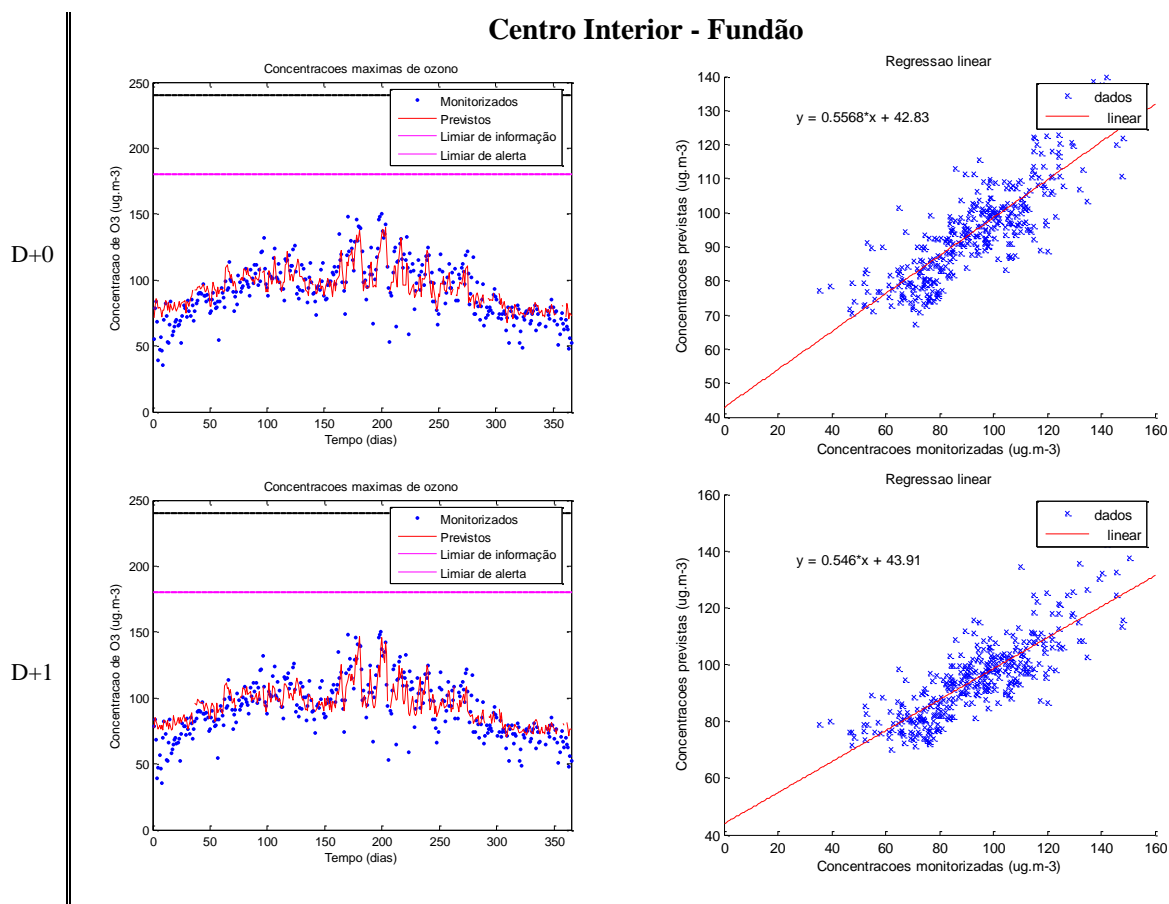


### Centro Interior – Fundão



**Figura 14** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Fundão.

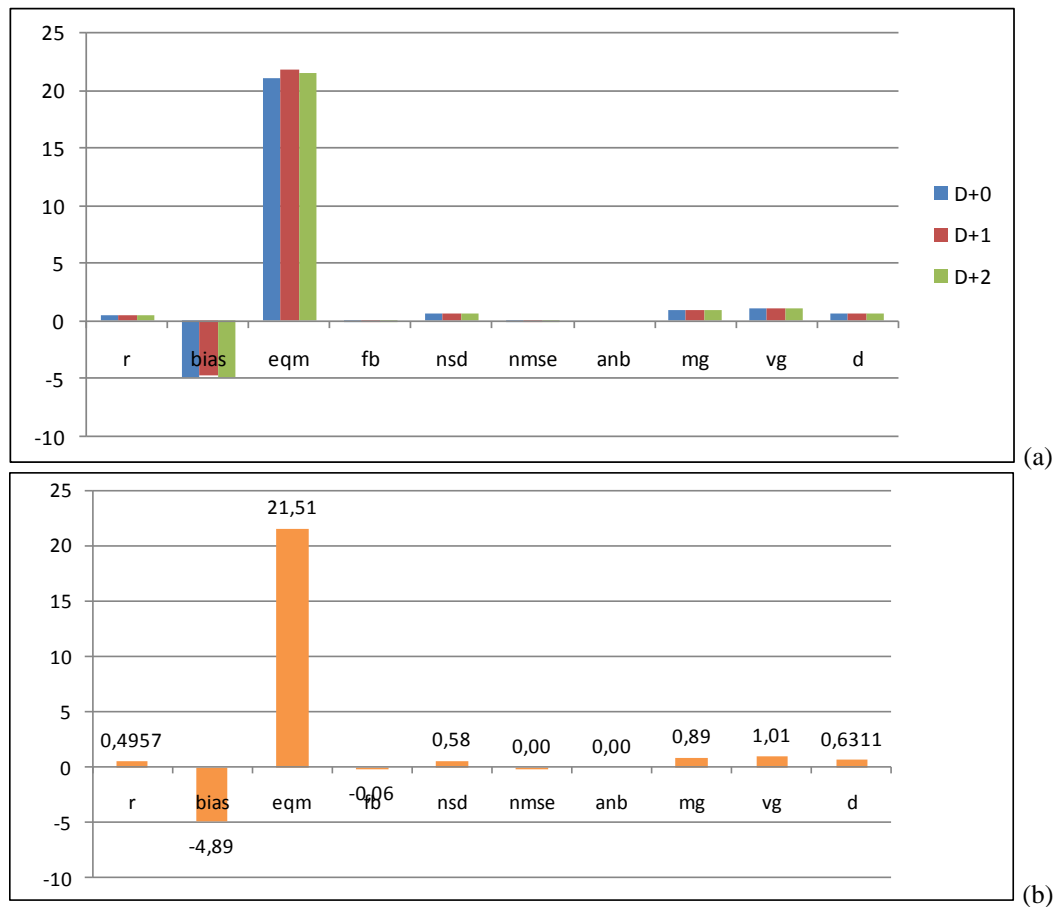
Na Figura 14(a) verifica-se a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $O_3$  (bias negativo), com uma amplitude de erro elevada ( $\sim 30$ ). O coeficiente de correlação e o índice de concordância apresentam valores na ordem dos 0,7. Os restantes parâmetros, FB e MG estão próximos dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão não são muito elevados (Tabela C.7, Anexo C). Pela análise dos valores obtidos para cada dia de previsão, pode constatar-se que não existe grande diferença entre eles.



**Figura 15** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

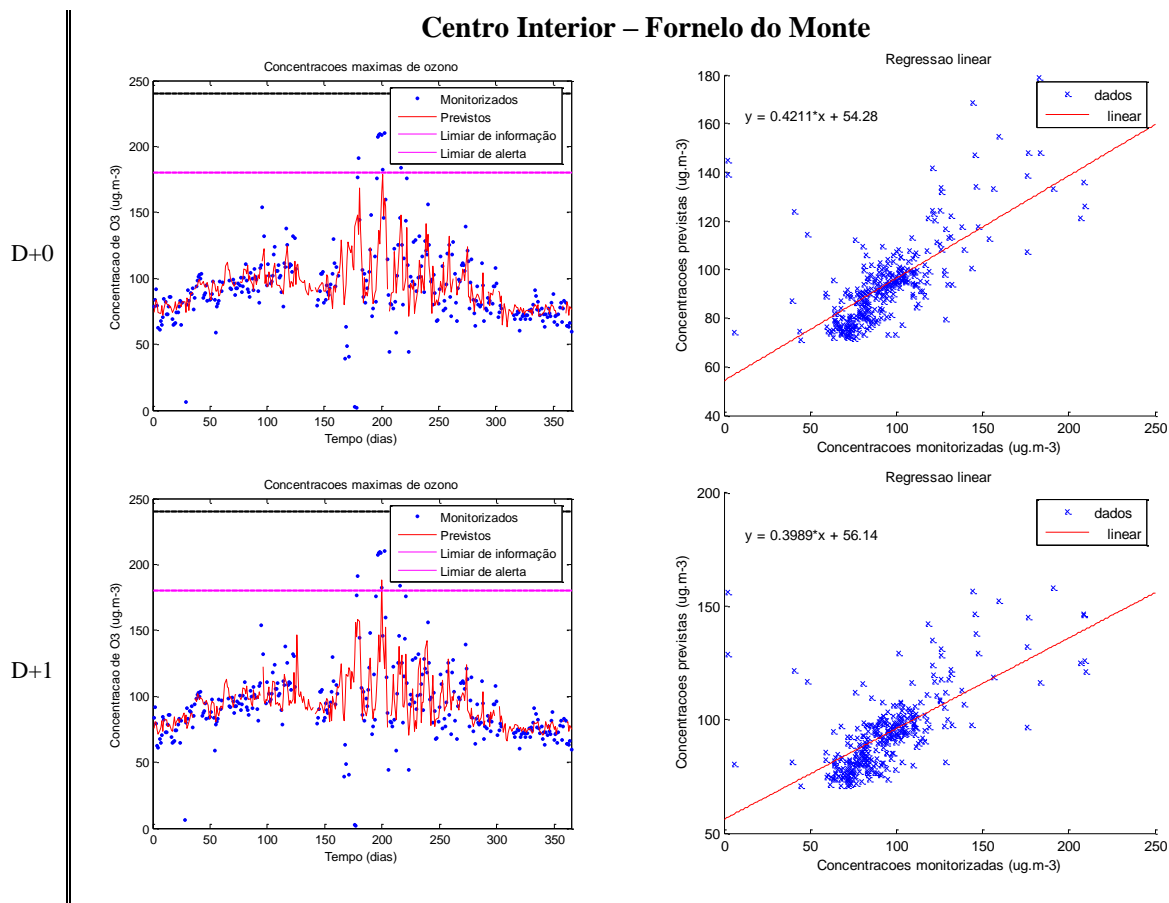
Na Figura 15, nas séries temporais, é possível comprovar que o sistema de previsão tem tendência para sobrestimar as concentrações, mas de uma forma geral consegue acompanhar a evolução das concentrações monitorizadas ao longo do ano. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são bastante idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas,  $y=0,5568x+42,83$  e  $y=0,5450x+43,91$ , respectivamente. Para o último dia de previsão, não existem diferenças significativas entre as rectas de regressão obtidas,  $y=0,5241x+45,87$  (Anexo C, Figura C.11).

Centro Interior – Forno do Monte



**Figura 16** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Forno do Monte.

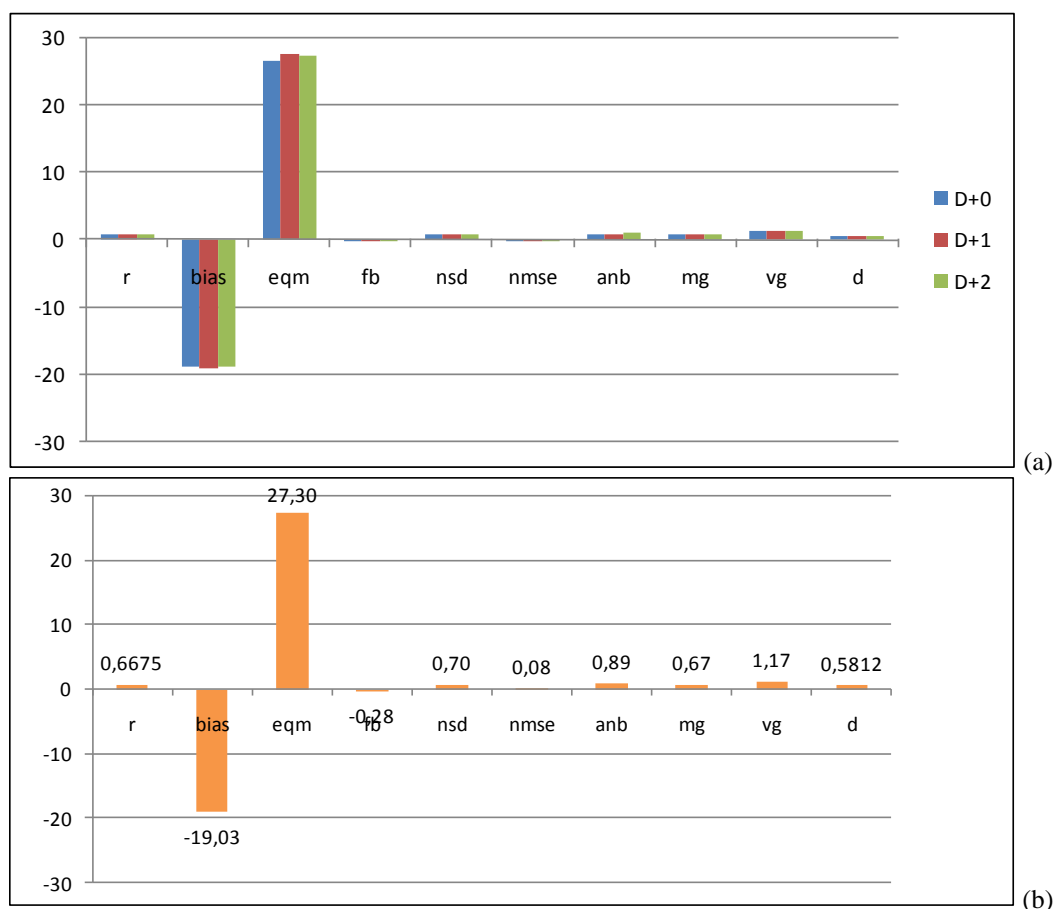
Pela análise da Figura 16(a) é possível verificar a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $O_3$  (bias negativo), com uma amplitude de erro aproximadamente 20. O coeficiente de correlação é relativamente baixo, 0,5 e o índice de concordância apresenta valores na ordem dos 0,6. Esta é a estação que apresenta um coeficiente de correlação mais baixo, comparativamente às restantes estações de fundo. Os parâmetros, FB e MG estão bastante próximos dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são reduzidos (Tabela C.8, Anexo C). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 17** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

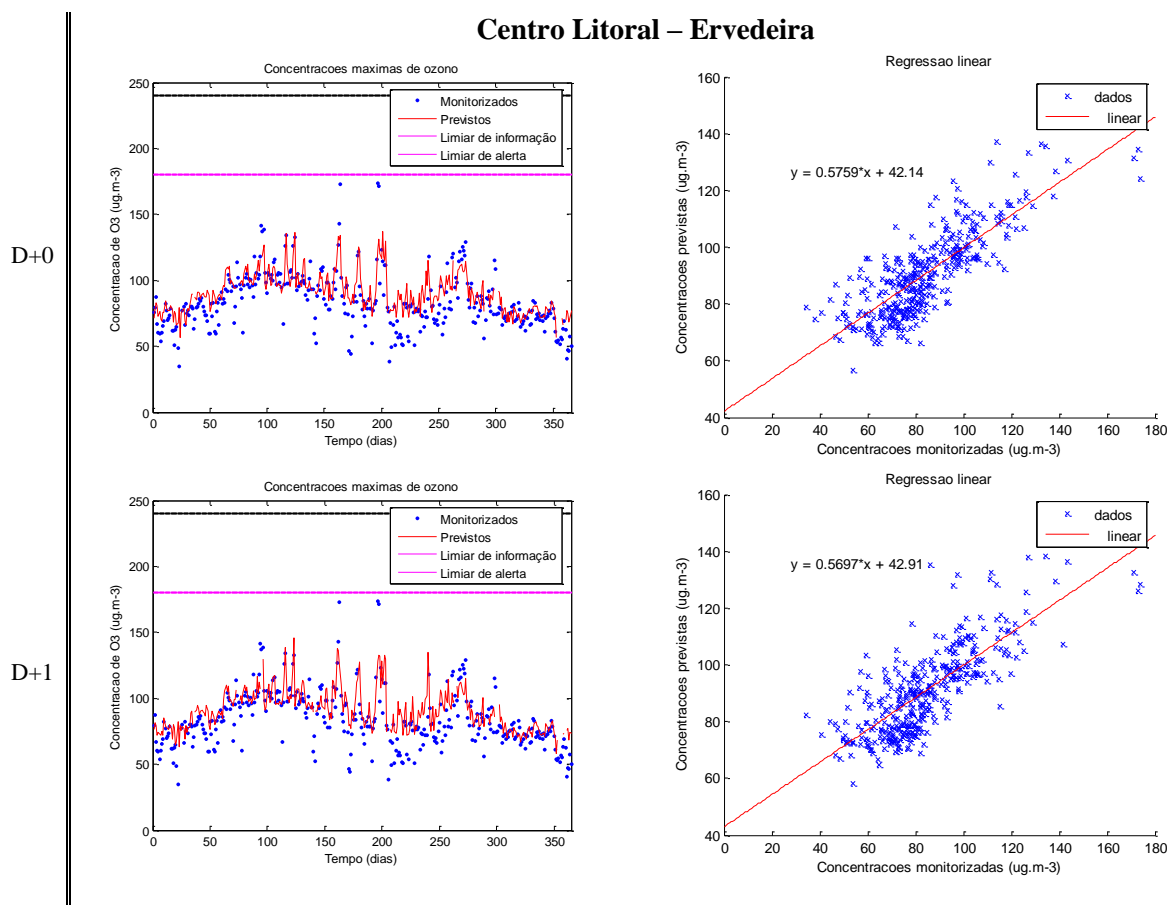
Através da visualização das séries temporais, é possível comprovar que o sistema de previsão tem tendência para sobrestimar as concentrações e apresenta falhas na previsão dos picos máximos e mínimos das concentrações de  $O_3$ . Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são bastante idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas,  $y=0,4211x+54,28$  e  $y=0,3989x+56,14$ , respectivamente. Para o último dia de previsão, não existem diferenças significativas entre as rectas de regressão obtidas,  $y=0,3809x+57,7$  (Anexo C, Figura C.12).

### Centro Litoral – Ervedeira



**Figura 18** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Ervedeira.

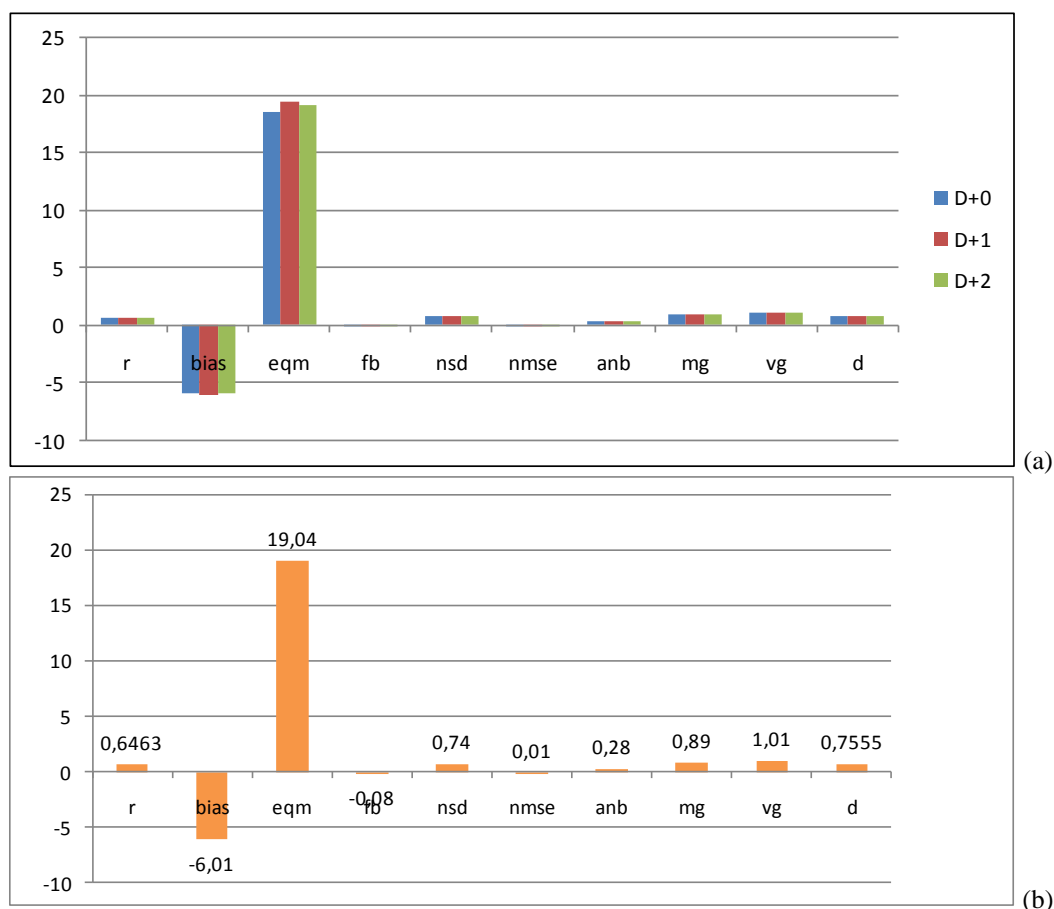
Na Figura 18(a) verifica-se a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $O_3$  (bias negativo), com uma amplitude de erro próximo dos 27. O coeficiente de correlação é elevado, 0,7 e o índice de concordância apresenta valores na ordem dos 0,6. Os parâmetros, FB e MG estão bastante próximos dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são reduzidos (Tabela C.9, Anexo C). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 19** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

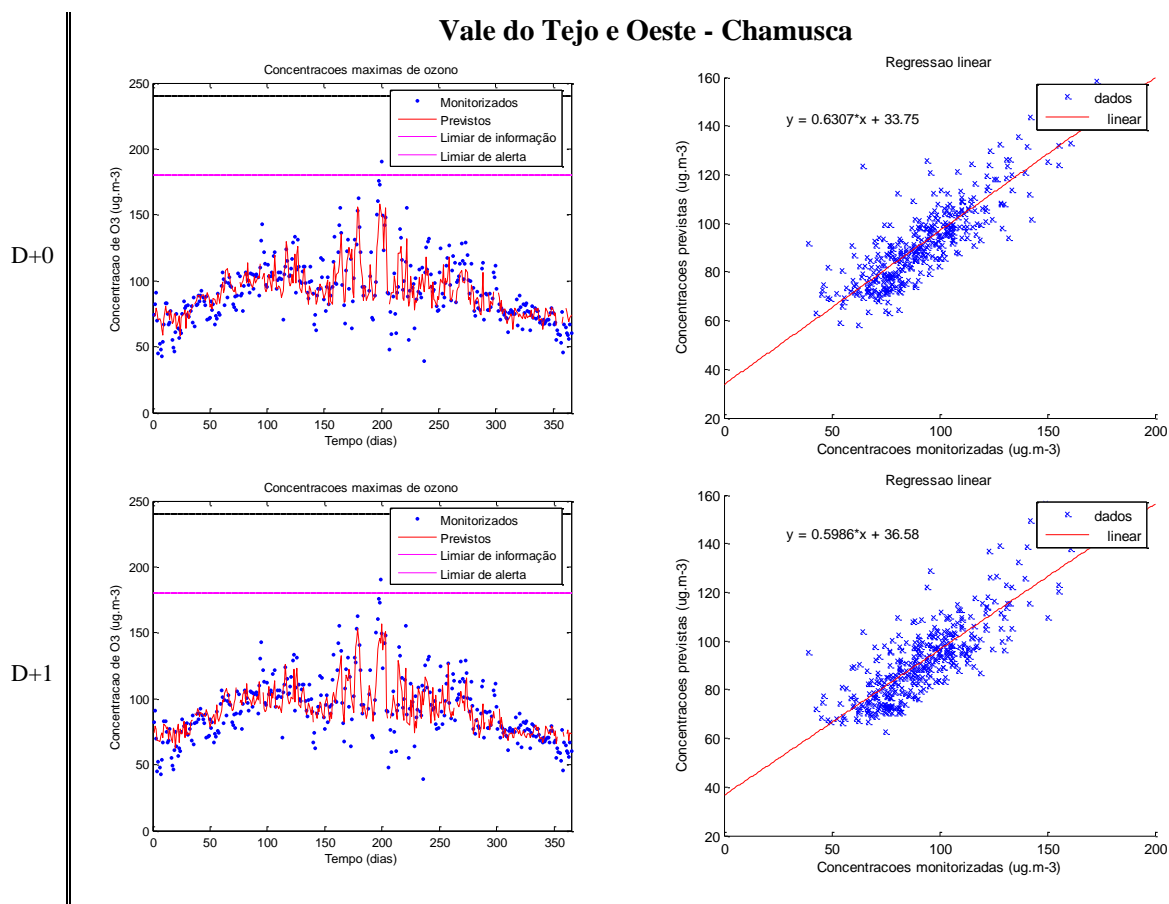
Através da análise das séries temporais é possível comprovar que o sistema de previsão tem tendência para sobrestimar as concentrações e apresenta falhas na previsão dos picos máximos e mínimos das concentrações de O<sub>3</sub>. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são bastante idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas,  $y=0,5759x+42,14$  e  $y=0,5697x+42,91$ , respectivamente. Para o último dia de previsão, não existem diferenças significativas entre a recta de regressão obtida para D+1,  $y=0,5452x+44,61$  (Anexo C, Figura C.13).

Vale do Tejo e Oeste – Chamusca



**Figura 20** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Chamusca.

A Figura 20(a) apresenta, no primeiro gráfico a variação de cada parâmetro estatístico para os três dias de previsão, não existindo grande diferença entre eles. Pela análise deste gráfico, verifica-se a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $O_3$  (bias negativo), com uma amplitude de erro que não excede os 19. O coeficiente de correlação e o índice de concordância apresentam valores elevados, 0,7. Os parâmetros, FB e MG estão bastante próximos dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são reduzidos (Tabela C.12, Anexo C). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.

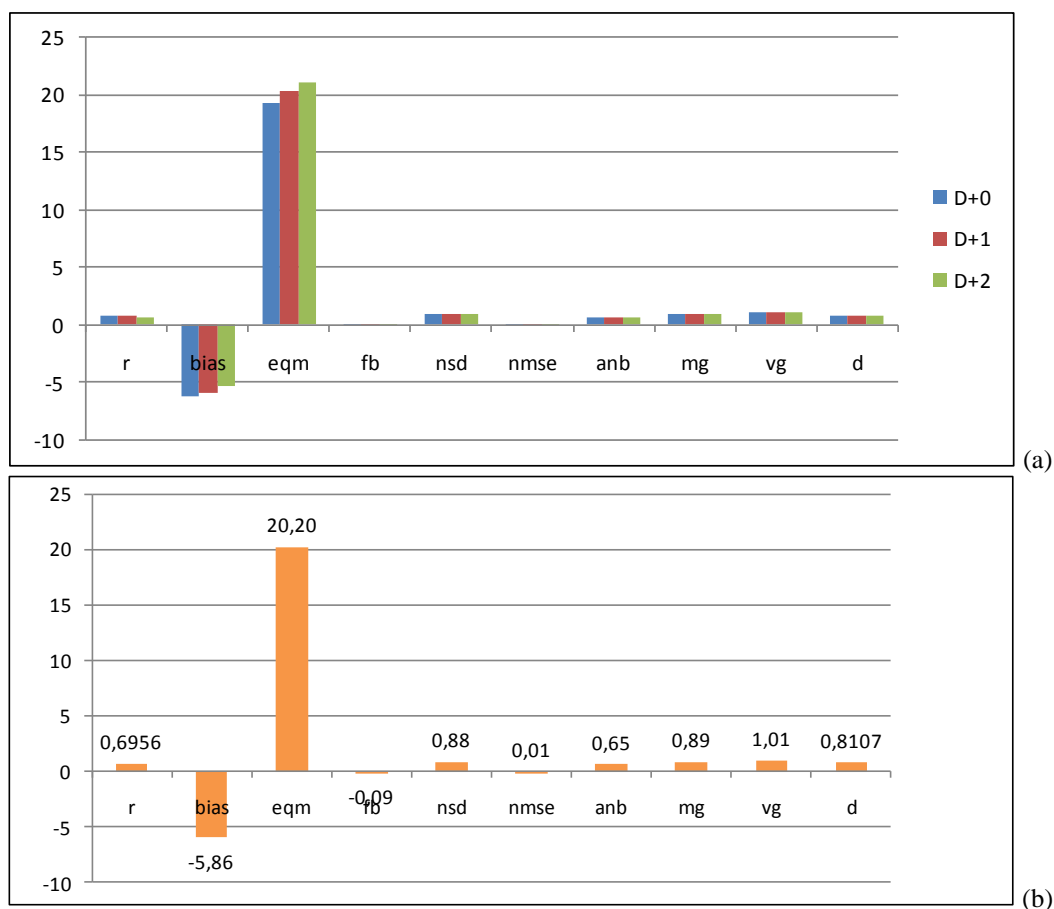


**Figura 21** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

Na Figura 21, pela análise das séries temporais é possível comprovar que o sistema de previsão tem tendência para sobrestimar as concentrações e apresenta falhas na previsão dos picos máximos e mínimos das concentrações de O<sub>3</sub>. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são bastante idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas, com um comportamento de dispersão típico. Entre D+1 e D+2 as diferenças não são significativas, como se pode verificar pela análise da recta de regressão obtida,  $y=0,5378x+41,82$  (Anexo C, Figura C.18).

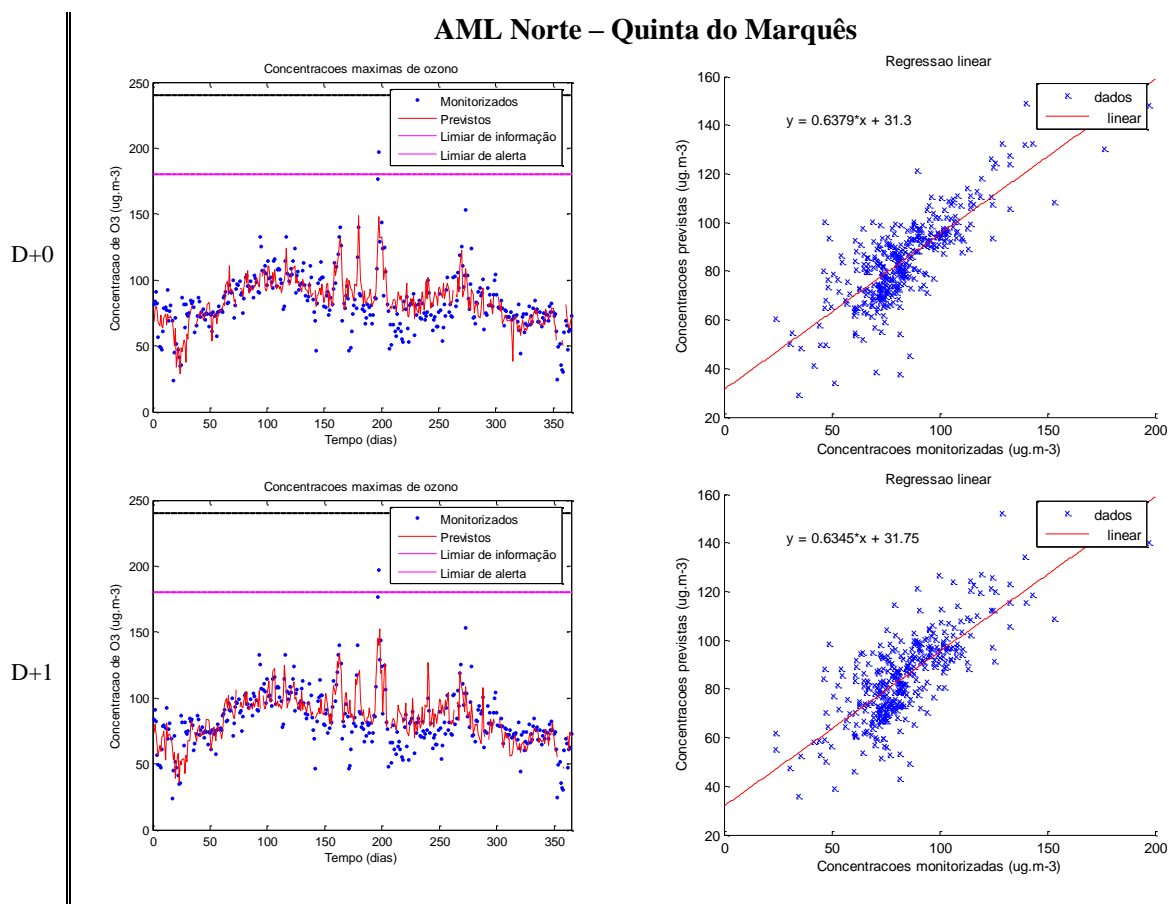


AML Norte– Quinta do Marquês



**Figura 22** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Quinta do Marquês.

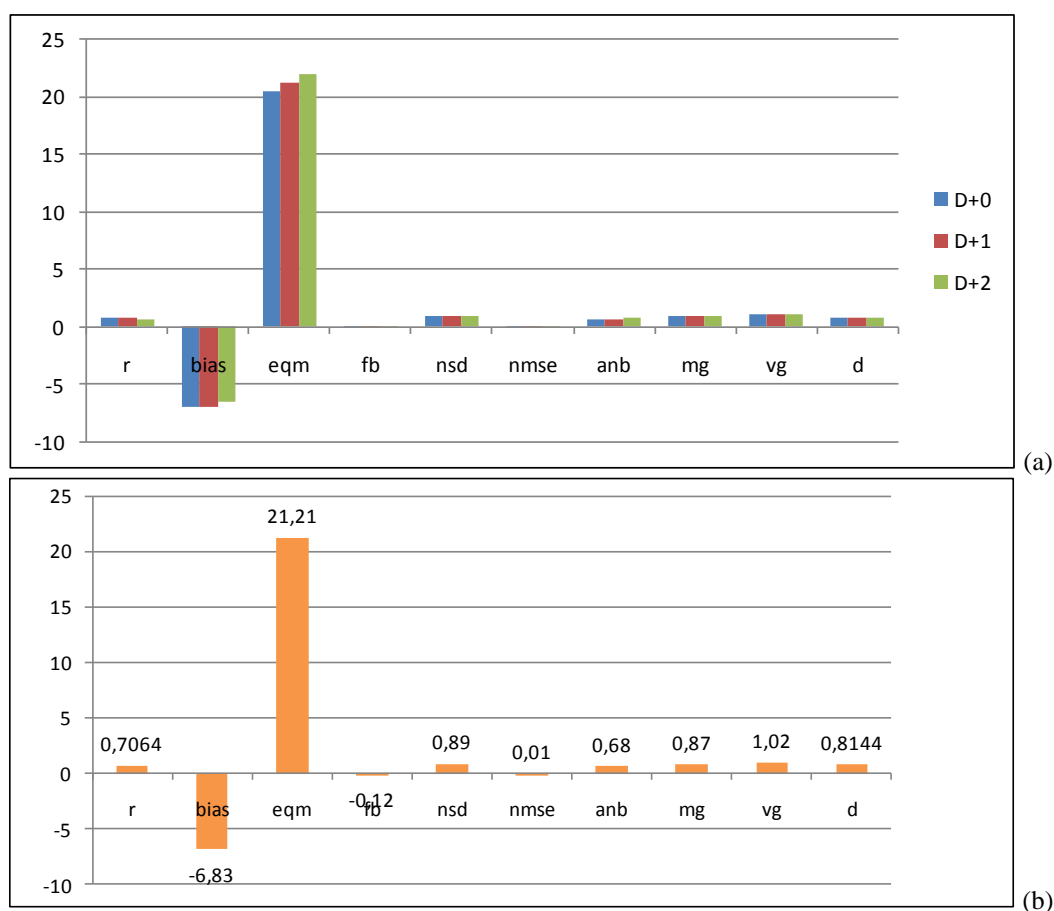
Pela análise da Figura 22(a) verifica-se a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $O_3$  (bias negativo), com uma amplitude de erro aproximadamente 20. O coeficiente de correlação e o índice de concordância apresentam valores elevados, 0,7 e 0,8, respectivamente. Os parâmetros, FB e MG estão bastante próximos dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são reduzidos (Tabela C.14, Anexo C). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 23** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

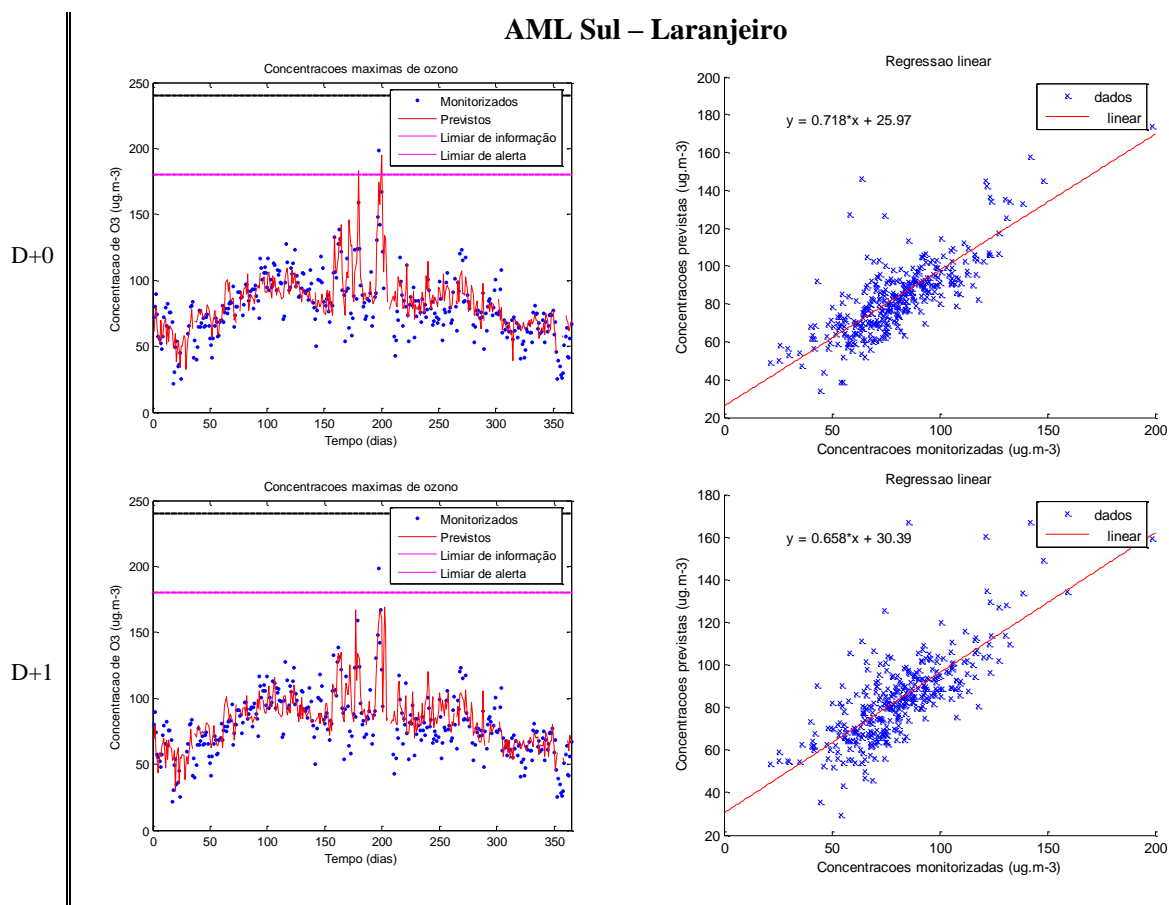
Nas séries temporais da Figura 23 verifica-se que o sistema de previsão tem tendência para sobrestimar as concentrações, havendo falhas a nível da previsão dos picos máximos e mínimos de O<sub>3</sub>. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são bastante idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas, com um comportamento de dispersão típico. Entre D+1 e D+2 as diferenças não são significativas, como se pode verificar pela análise da recta de regressão obtida,  $y=0,6088x+33,87$  (Anexo C, Figura C.21).

### AML Sul – Laranjeiro



**Figura 24** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Laranjeiro.

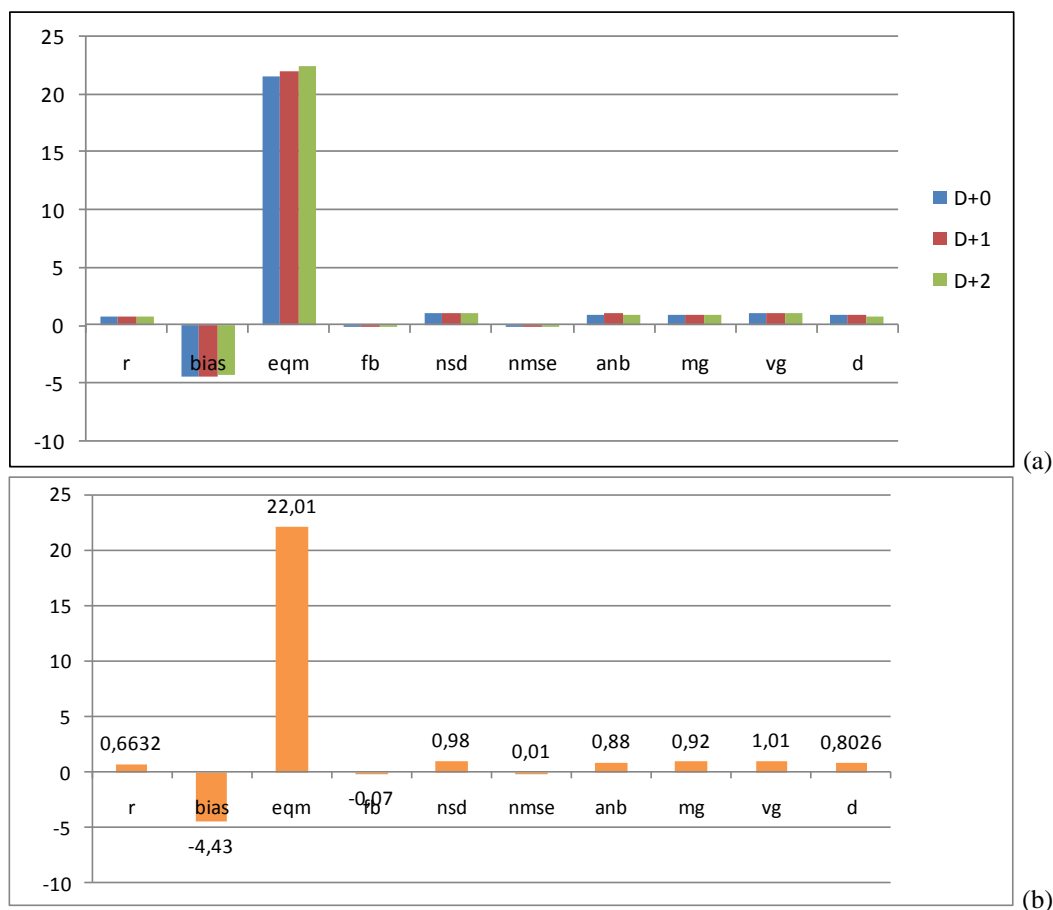
A Figura 24(a) demonstra a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $O_3$  (bias negativo), com uma amplitude de erro aproximadamente 20. O coeficiente de correlação e o índice de concordância apresentam valores elevados, 0,7 e 0,8, respectivamente. Os parâmetros, FB e MG estão bastante próximos dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são reduzidos (Tabela C.15, Anexo C). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 25** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

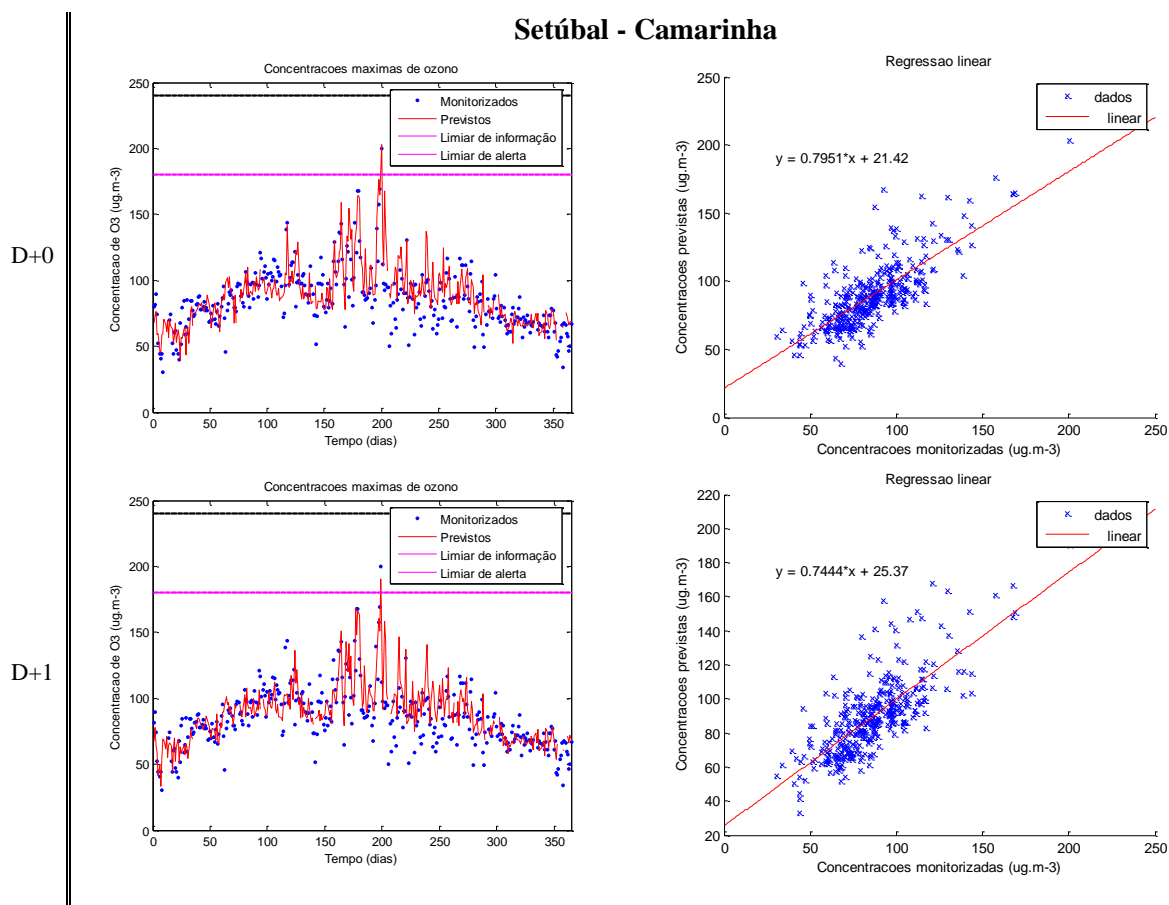
A Figura 25 apresenta as séries temporais e os “scatter plots” obtidos para cada dia de previsão. Através da visualização gráfica (séries temporais) verifica-se que o sistema de previsão tem tendência para sobrestimar as concentrações. Relativamente aos “scatter plots”, de D+0 para D+1 há um ligeiro aumento na dispersão dos resultados, como se pode verificar pelas rectas de regressão linear  $y=0,718x+25,97$  e  $y=0,658x+30,39$ . Entre D+1 e D+2 as diferenças não são significativas, como se pode verificar pela análise da recta de regressão obtida,  $y=0,6596x+30,41$  (Anexo C, Figura C.22).

# Setúbal – Camarinha



**Figura 26** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Camarinha.

A Figura 26(a) permite verificar a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $O_3$  (bias negativo), com uma amplitude de erro aproximadamente 20. O coeficiente de correlação e o índice de concordância apresentam valores elevados, 0,7 e 0,8, respectivamente. Os parâmetros, FB e MG estão bastante próximos dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são reduzidos (Tabela C.16, Anexo C). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 27** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

A Figura 27 apresenta as séries temporais e os “scatter plots” obtidos para cada dia de previsão. Através da visualização gráfica (séries temporais) verifica-se que o sistema de previsão tem tendência para sobrestimar as concentrações. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são bastante idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas, com um comportamento de dispersão típico. Entre D+1 e D+2 as diferenças não são significativas, como se pode verificar pela análise da recta de regressão obtida,  $y=0,7568x+24,26$  (Anexo C, Figura C.23).

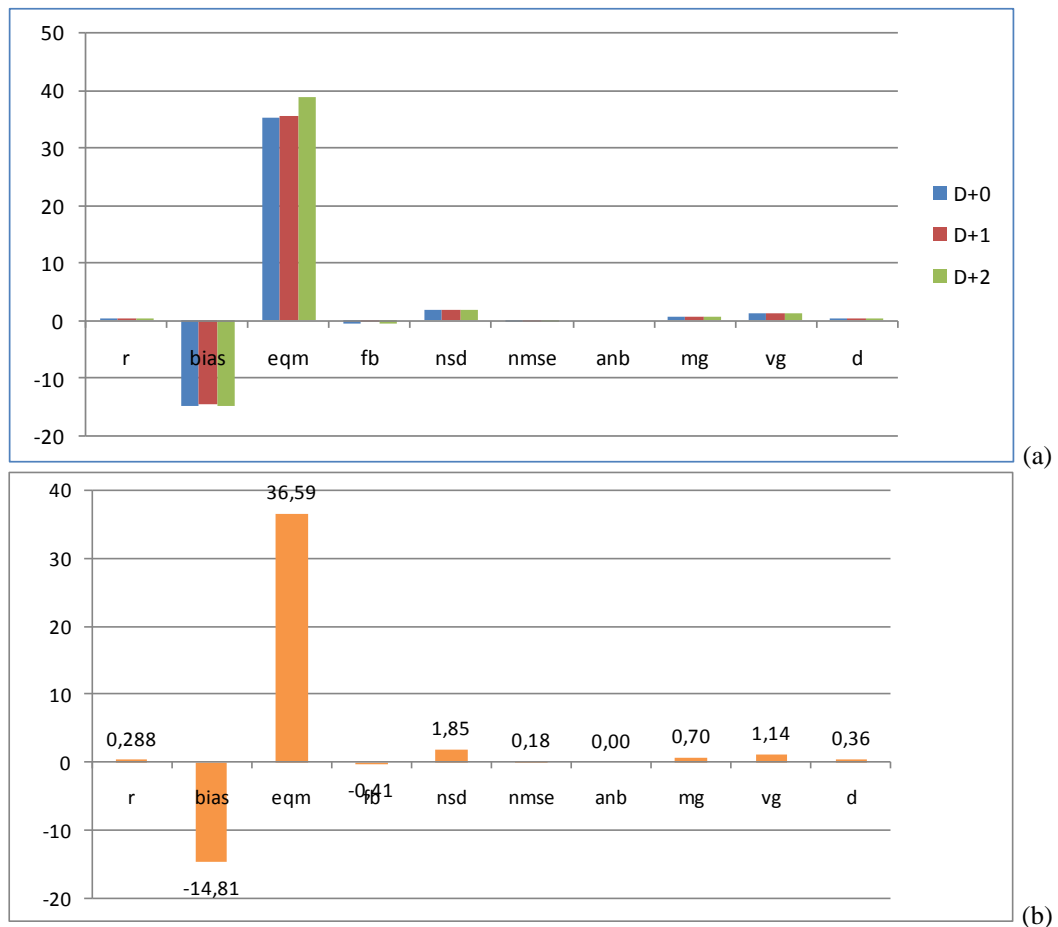
À semelhança dos outros dois anos de previsão, 2006 e 2007, realizadas por Monteiro [2007] e Ribeiro [2008], respectivamente, o modelo determinístico apresenta um bom desempenho relativamente à previsão do ozono, com coeficientes de correlação na ordem dos 0,7 e índices de concordância acima dos 0,6, demonstrando uma boa relação linear entre as concentrações previstas e observadas. A estação de Fornelo do Monte, Centro Interior, foi a que apresentou um coeficiente de correlação mais baixo (0,5). Relativamente ao erro sistemático médio, pode agrupar-se 4 parâmetros estatísticos, sendo eles BIAS, FB, MG, ANB, uma vez que todos eles reflectem as diferenças entre a média dos resultados previstos e simulados [Borrego *et al.*, 2008]. Tendencialmente, o sistema de previsão sobrestima as concentrações de O<sub>3</sub>, como se verifica em todas as estações de monitorização da qualidade do ar, independentemente da zona onde se encontram localizadas. O FB e MG, quando se afastam dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstram erros sistemáticos elevados [Borrego *et al.*, 2008], mas para o caso da previsão de O<sub>3</sub>, os valores não se afastam muito desses valores ideais. O EQM e o NMSE, parâmetros que reflectem a amplitude dos erros entre os dados previstos e monitorizados, apresentam valores mais elevados nas zonas do Centro Litoral (Ervedeira), Centro Interior (Fundão) e Porto Litoral (Ermesinde).

Analisando, cada dia de previsão, é possível verificar que o desempenho da simulação não apresenta variações muito significativas, embora apresente um ligeiro decréscimo de D+0 para D+2, como se pode verificar pela análise dos gráficos. Este facto pode estar relacionado com o erro de simulação meteorológica, uma vez que este apresenta um decréscimo no desempenho entre os dias de previsão [Monteiro, 2007; Ribeiro, 2008]. Os “scatter plots”, para esta validação não apresentam grande dispersão em torno da recta, havendo, no entanto, tendência para o aumento da dispersão dos dados de D+0 para D+2.

### 6.2.2 PM<sub>10</sub>

Análise idêntica à realizada para o ozono, mas neste caso, para a obtenção dos gráficos, recorreu-se às concentrações médias diárias dos dados monitorizados e dos dados previstos. Nos gráficos das séries temporais, apresenta-se também o valor-limite de PM<sub>10</sub>, 50 µg.m<sup>-3</sup>.

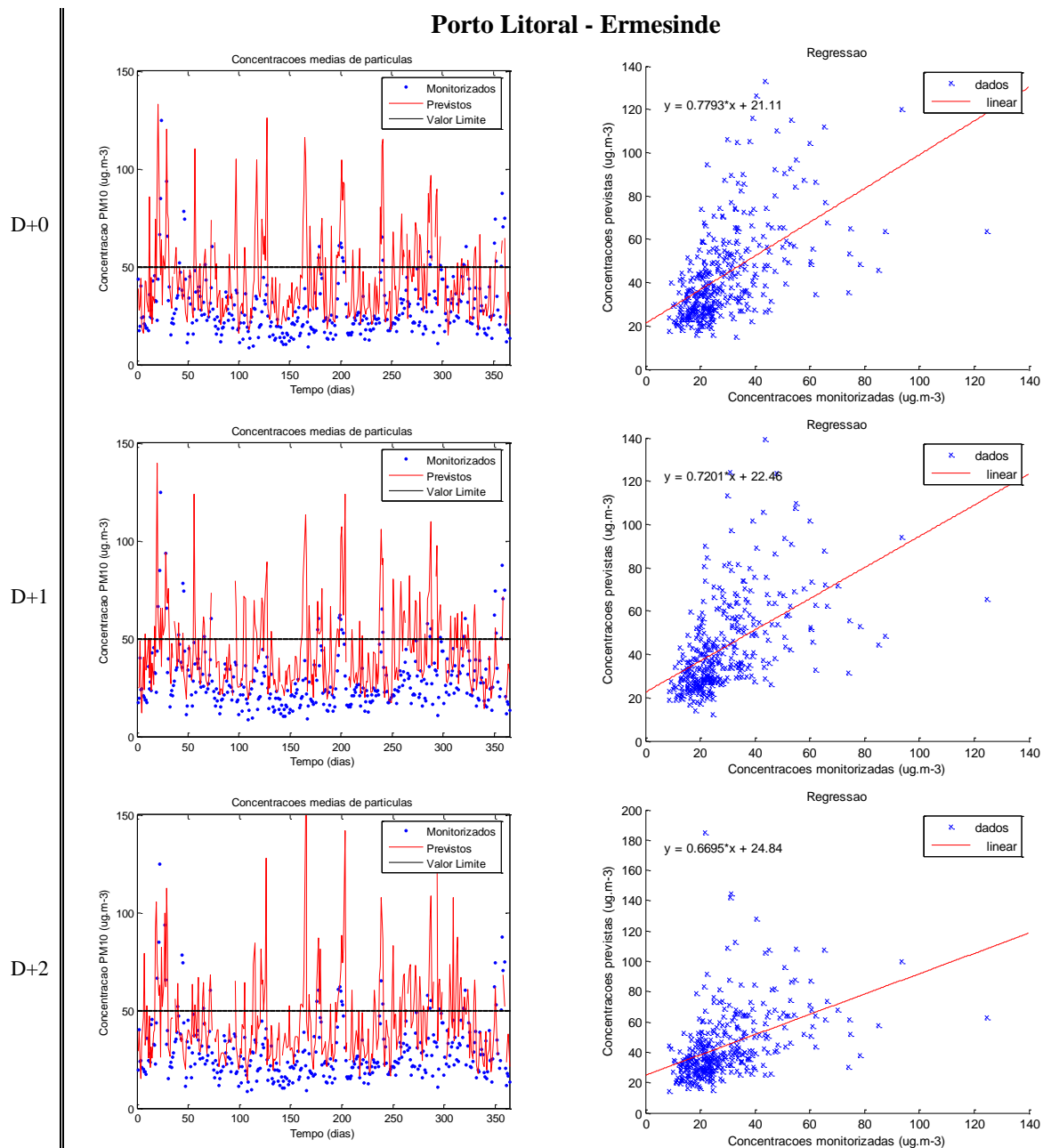
#### Porto Litoral – Ermesinde



**Figura 28** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Ermesinde.

Na Figura 28(a) verifica-se a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de PM<sub>10</sub> (bias negativo), com uma amplitude de erro elevada (~39). O coeficiente de correlação e o índice de concordância apresentam valores baixos, 0,3 e 0,4, respectivamente. Apesar do parâmetro MG (0,7) estar próximo do ser valor ideal (1), o FB afasta-se ligeiramente do seu valor ideal (0), o que demonstra que os erros sistemáticos são superiores (Tabela D.5, Anexo D). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.

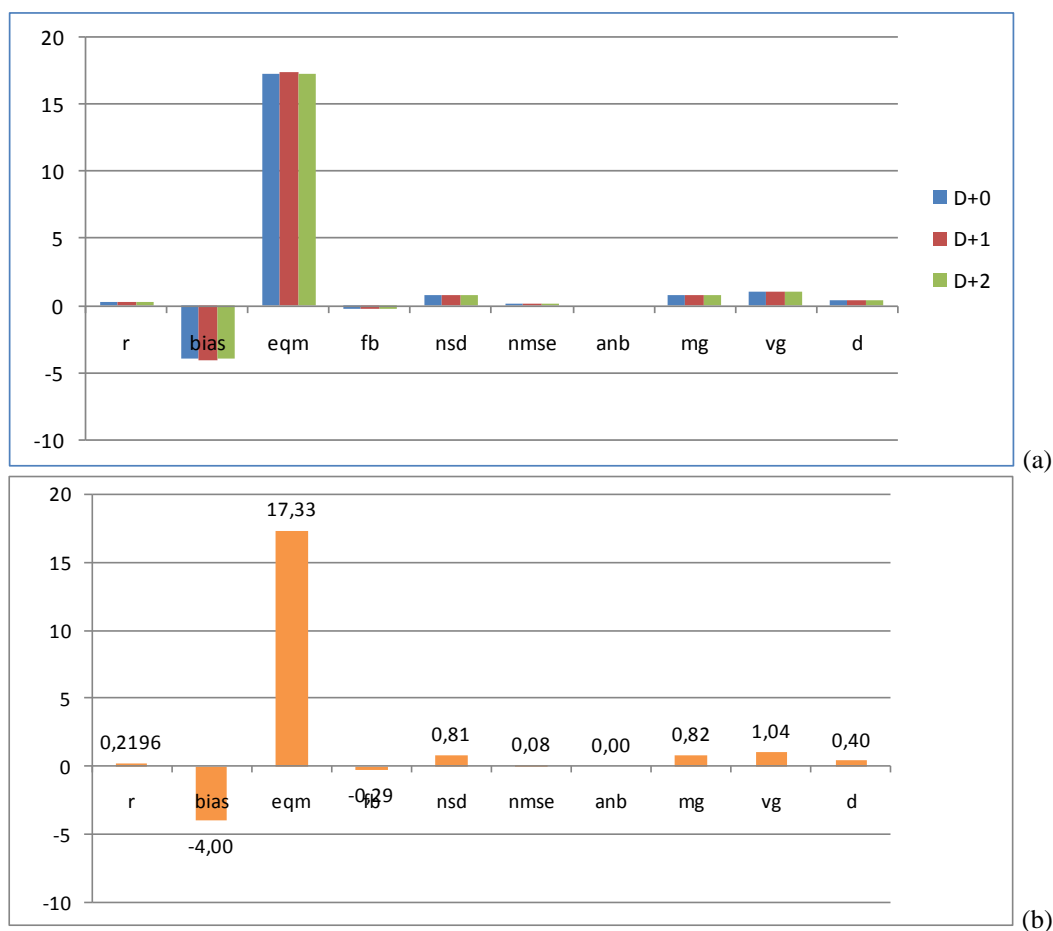




**Figura 29** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

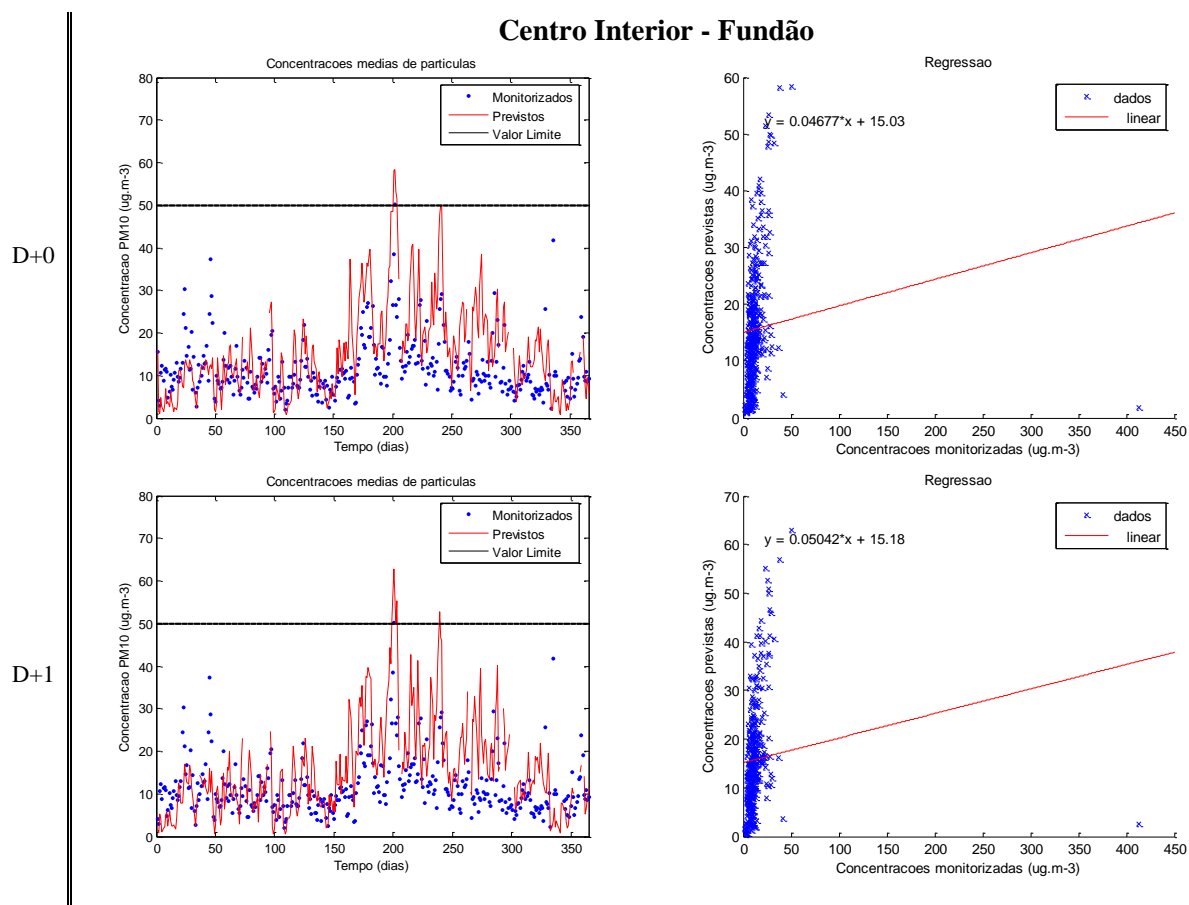
Através da análise das séries temporais verifica-se que o sistema de previsão tem tendência para sobrestimar as concentrações. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas, com um comportamento de dispersão típico. Entre D+1 e D+2 existe uma ligeira diferença a nível da dispersão dos dados, comprovada pela recta obtida para o último dia de previsão  $y=0,6695x+24,84$ .

Centro Interior – Fundão



**Figura 30** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Fundão.

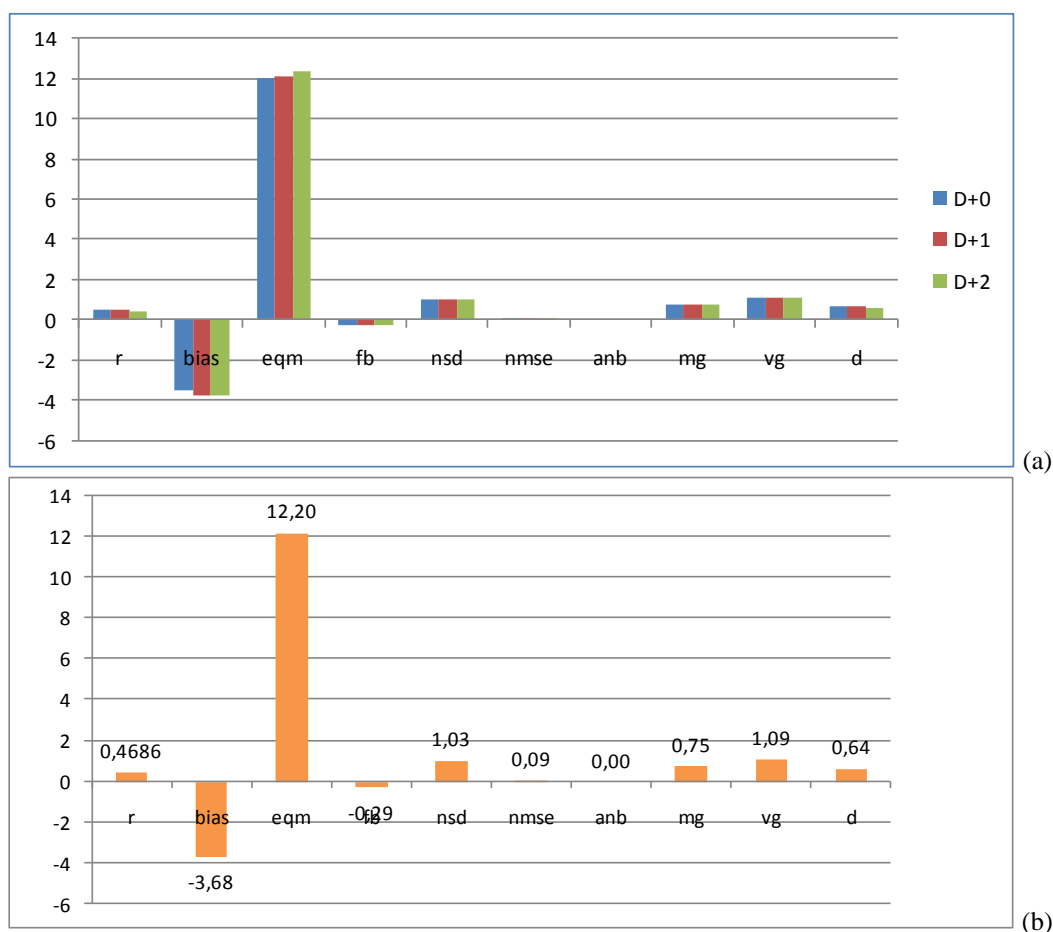
A Figura 30(a) permite verificar que a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $PM_{10}$  (bias negativo), com uma amplitude de erro próximo dos 17. O coeficiente de correlação e o índice de concordância apresentam valores baixos, 0,2 e 0,4, respectivamente. Os parâmetros, FB e MG estão bastante próximos dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são reduzidos (consultar Tabela D.6, Anexo D). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 31** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

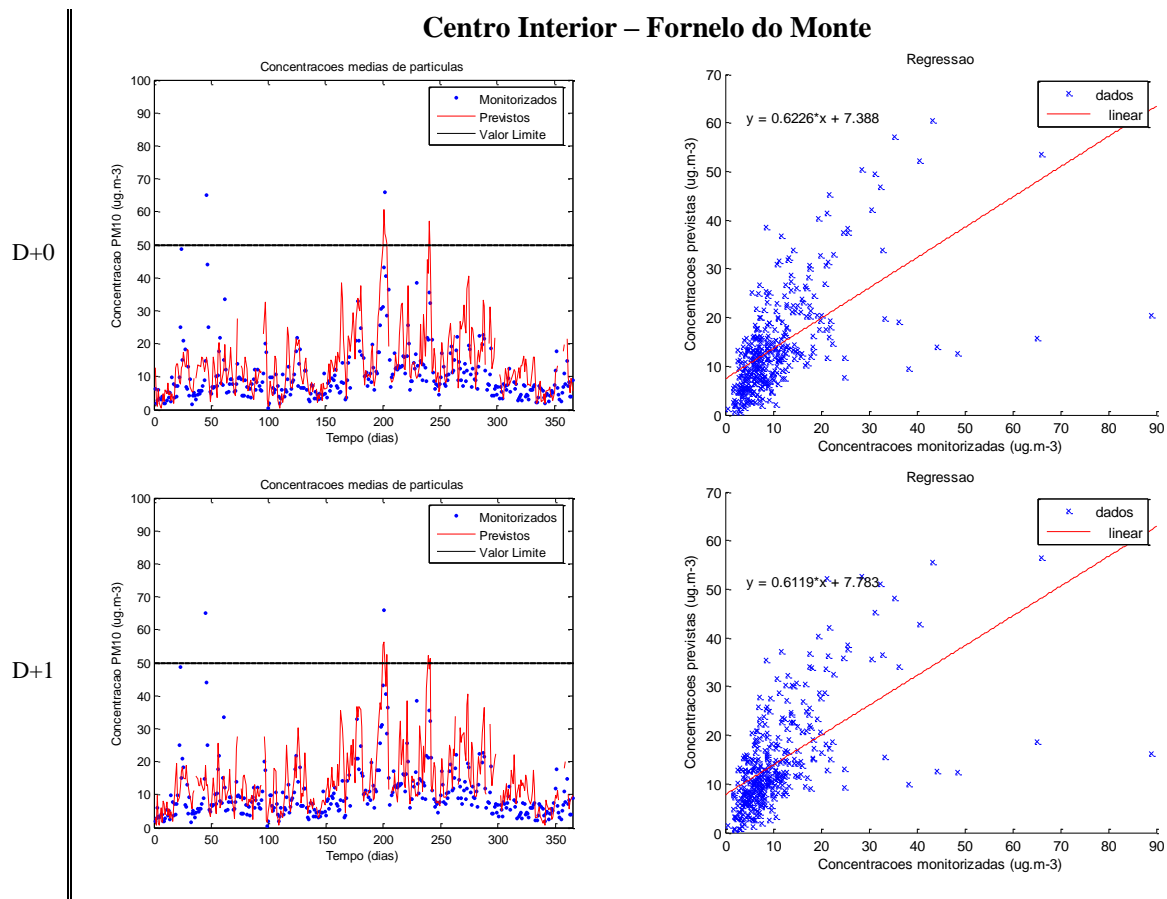
Através da visualização das séries temporais verifica-se que o sistema de previsão tem tendência para sobrestimar as concentrações, excedendo o valor-limite estipulado para as  $PM_{10}$ , o que na realidade não aconteceu. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas. No entanto, para esta estação, o comportamento de dispersão destaca-se das restantes estações, uma vez que os dados estão todos concentrados, não se apresentando de forma aleatória, o que demonstra um fraco ajuste de resultados, sendo comprovado pelo baixo valor de coeficiente de correlação. Entre D+1 e D+2 o comportamento é idêntico, como se pode verificar pela recta de regressão obtida para D+2,  $y=0,04367x+15,33$  (Anexo D, Figura D.7).

### Centro Interior – Forno do Monte



**Figura 32** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Forno do Monte.

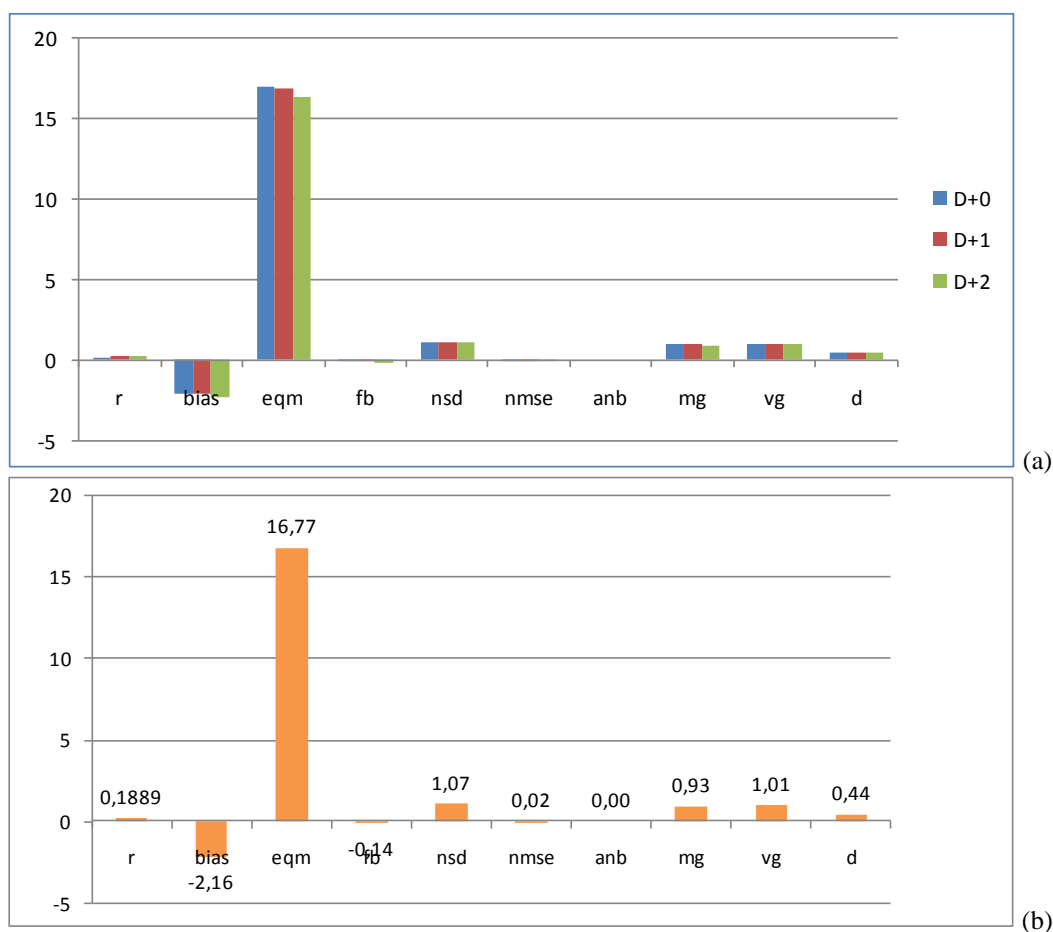
A Figura 32(a) mostra a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $PM_{10}$  (bias negativo), com uma amplitude de erro próximo dos 12. O coeficiente de correlação e o índice de concordância apresentam valores mais elevados, 0,5 e 0,6, respectivamente, comparativamente com as restantes estações. Os parâmetros, FB e MG estão bastante próximos dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são reduzidos (Tabela D.7, Anexo D). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 33** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

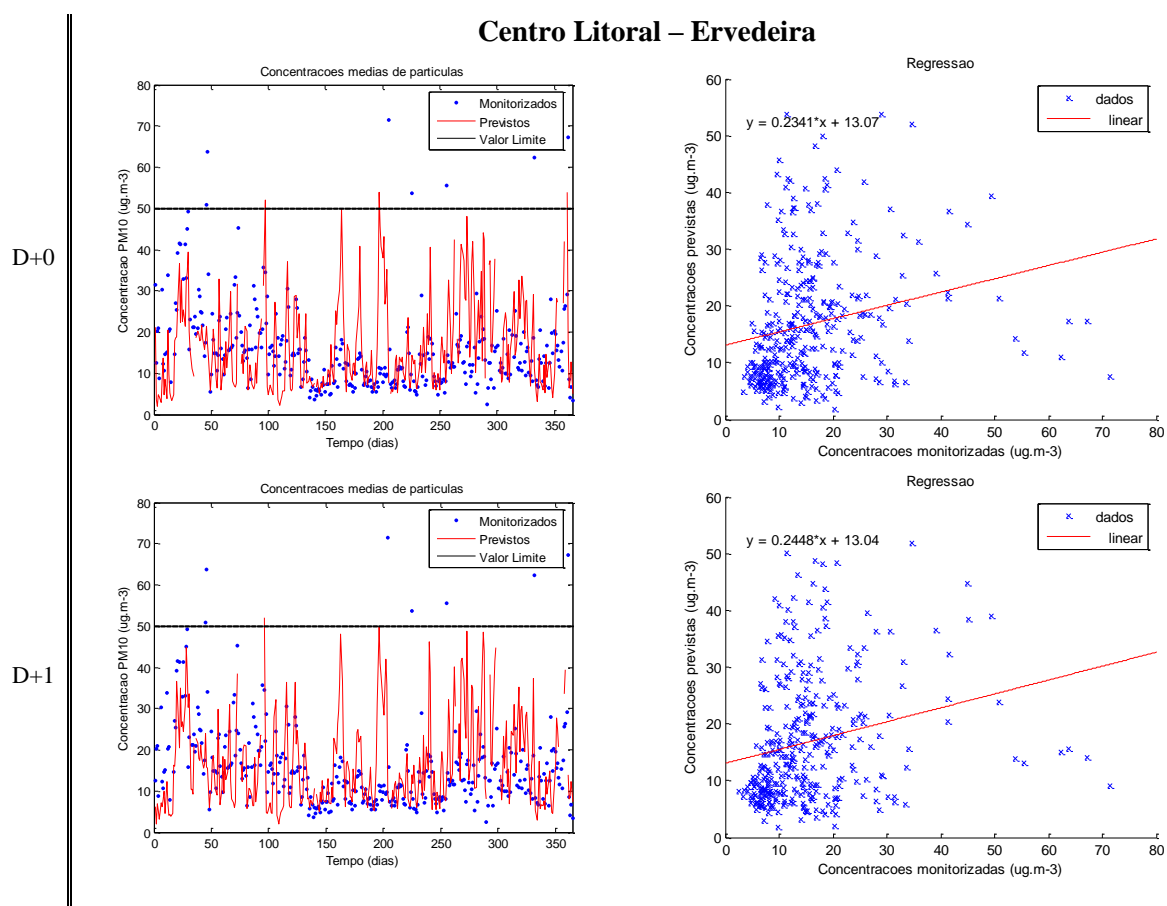
Pela análise das séries temporais da Figura 33 verifica-se que o sistema de previsão tem tendência para sobrestimar as concentrações, não atingindo os picos de concentração máximos monitorizados. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas. Entre D+1 e D+2 o comportamento da dispersão dos resultados é idêntico, como se pode verificar pela recta de regressão obtida para D+2,  $y=0,556x+8,491$  (Anexo D, Figura D.8).

## Centro Litoral – Ervedeira



**Figura 34** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Ervedeira.

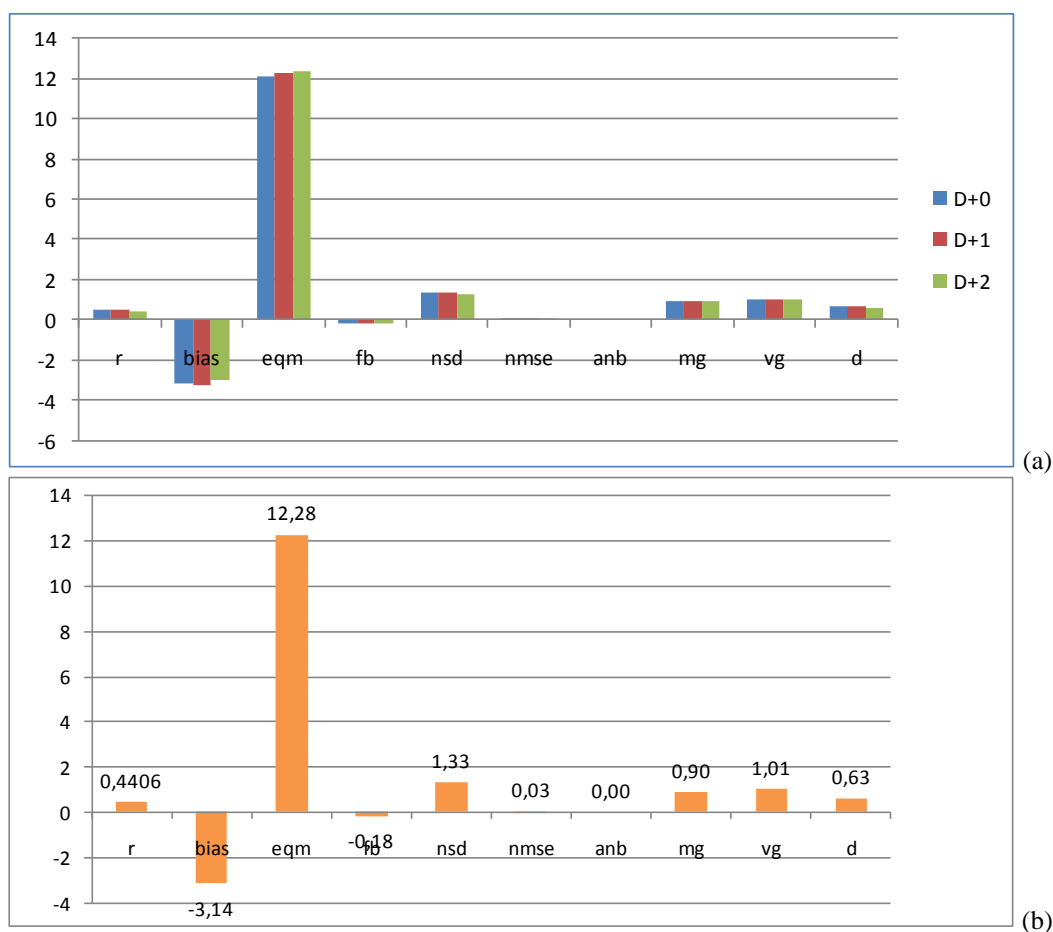
Pela análise da Figura 34(a) verifica-se a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $PM_{10}$  (bias negativo), com uma amplitude de erro próximo dos 17. O coeficiente de correlação e o índice de concordância apresentam valores muito baixos, 0,2 e 0,4, respectivamente. Os parâmetros, FB e MG estão bastante próximos dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são reduzidos (Tabela D.8, Anexo D). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 35** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

Através das séries temporais da Figura 35, verifica-se que o sistema de previsão tem tendência para sobrestimar as concentrações, não atingindo os picos de concentração máximos monitorizados. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas. Entre D+1 e D+2 o comportamento da dispersão dos resultados é idêntico, como se pode verificar pela recta de regressão obtida para D+2,  $y=0,2331x+13,52$  (Anexo D, Figura D.9).

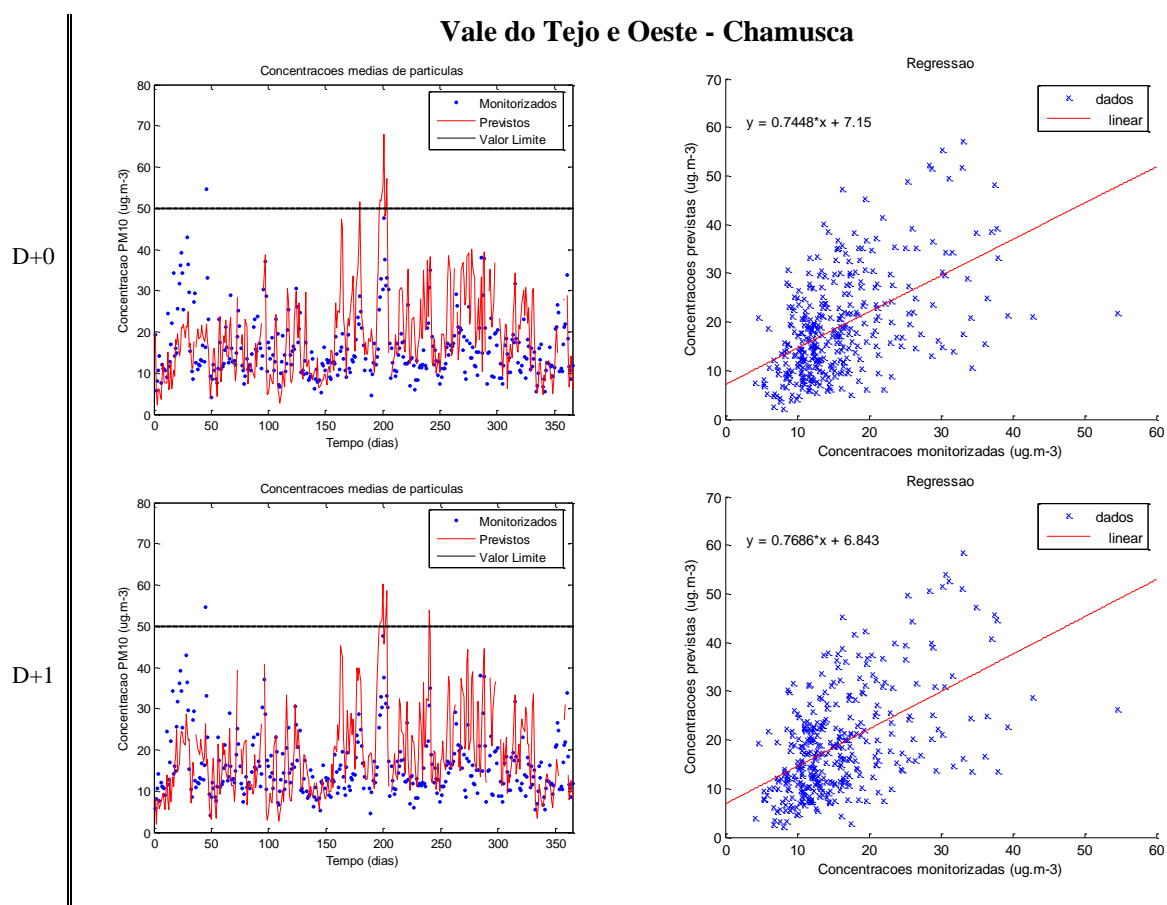
### Vale do Tejo e Oeste– Chamusca



**Figura 36** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Chamusca.

A Figura 36(a) permite verificar a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $PM_{10}$  (bias negativo), com uma amplitude de erro próximo dos 17. O coeficiente de correlação apresenta valores baixos, 0,2, no entanto o índice de concordância apresenta valores mais elevados, 0,6. Os parâmetros, FB e MG estão bastante próximos dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são reduzidos (Tabela D.10, Anexo D). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.

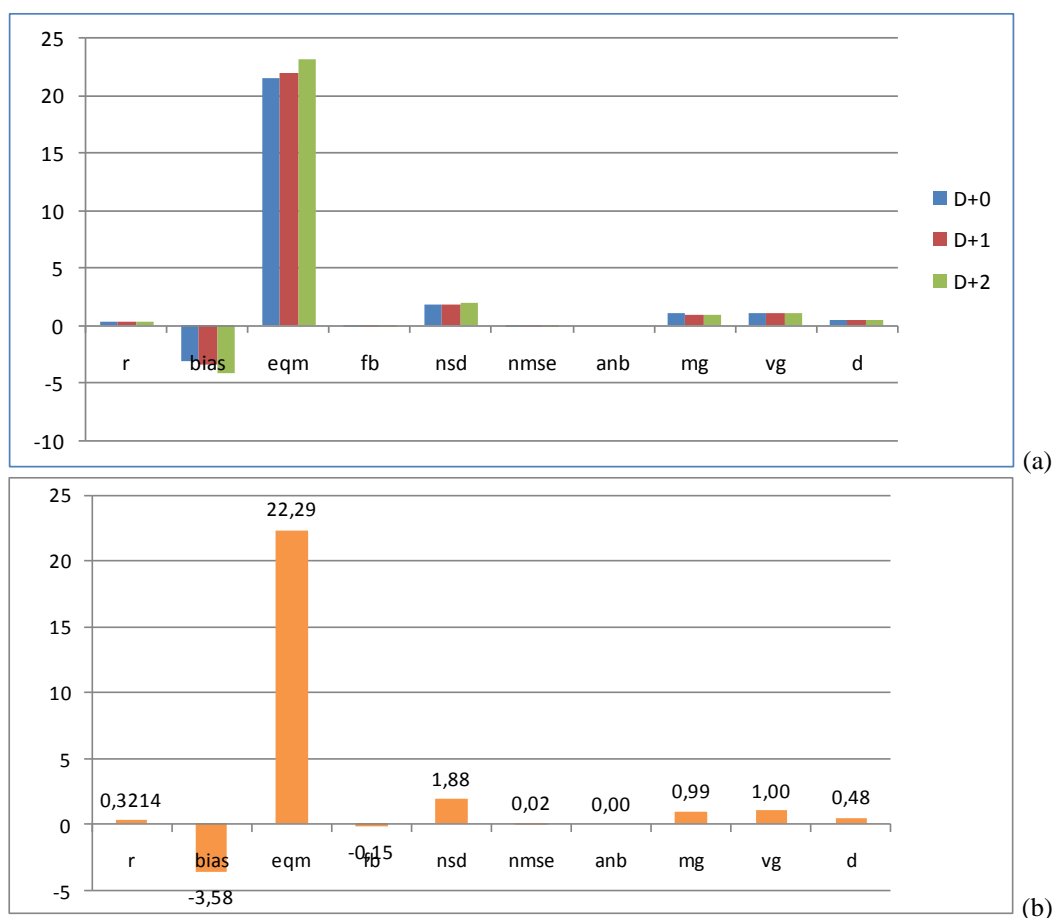




**Figura 37** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

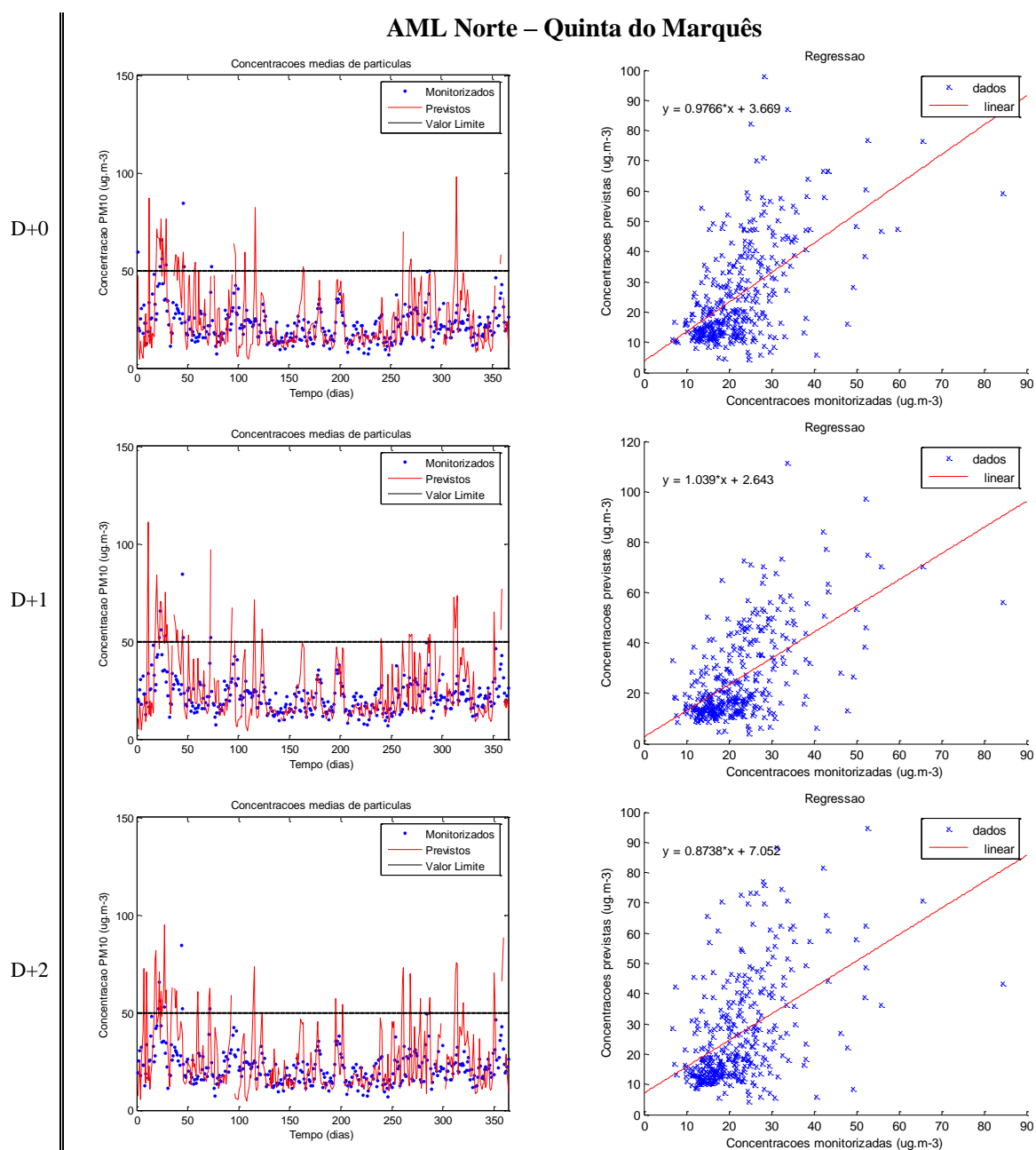
A análise das séries temporais permite verificar que o sistema de previsão tem tendência para sobrestimar as concentrações, não atingindo os picos de concentração máximos monitorizados. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas. Entre D+1 e D+2 o comportamento da dispersão dos resultados é idêntico, como se pode verificar pela recta de regressão obtida para D+2,  $y=0,6357x+8,802$  (Anexo D, Figura D.12).

### AML Norte– Quinta do Marquês



**Figura 38** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Quinta do Marquês.

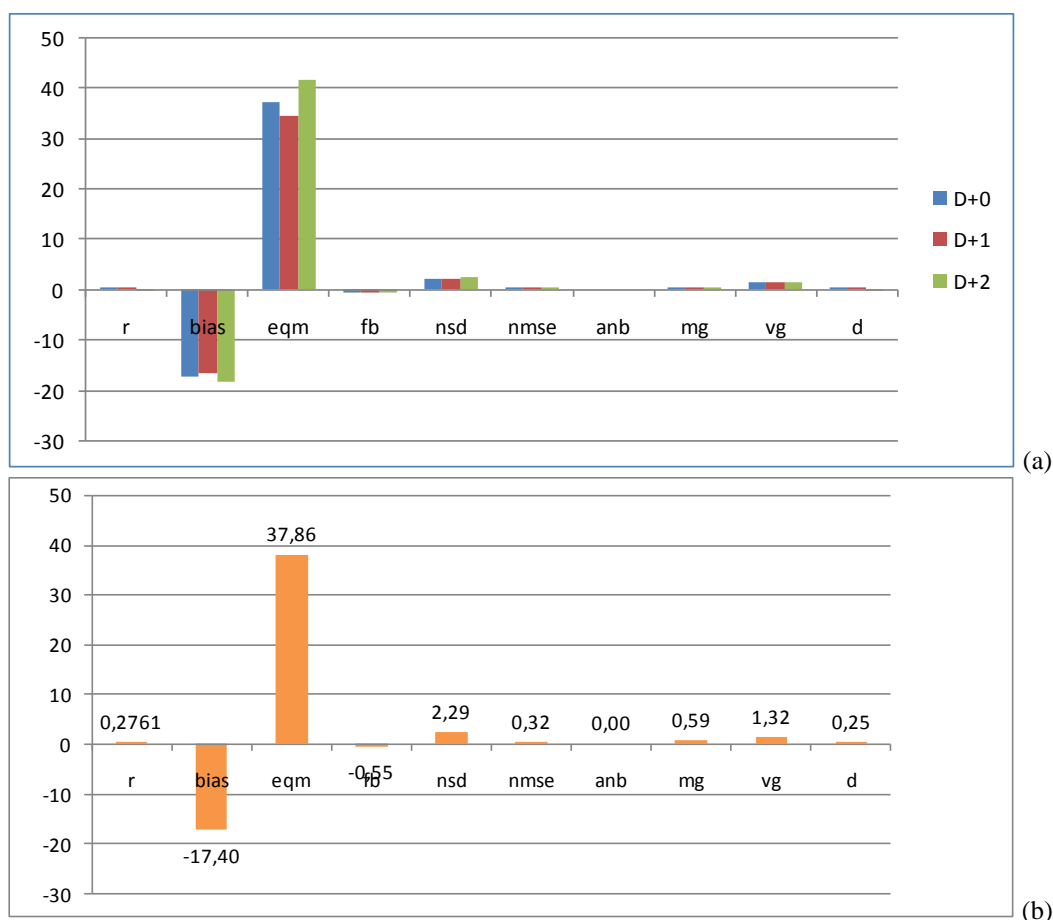
Na Figura 38(a) é possível verificar a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $PM_{10}$  (bias negativo), com uma amplitude de erro próximo dos 23. O coeficiente de correlação apresenta valores baixos, 0,3, no entanto o índice de concordância apresenta valores ligeiramente superiores, 0,5. Os parâmetros, FB e MG estão bastante próximos dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são reduzidos (Tabela D.12, Anexo D). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 39** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

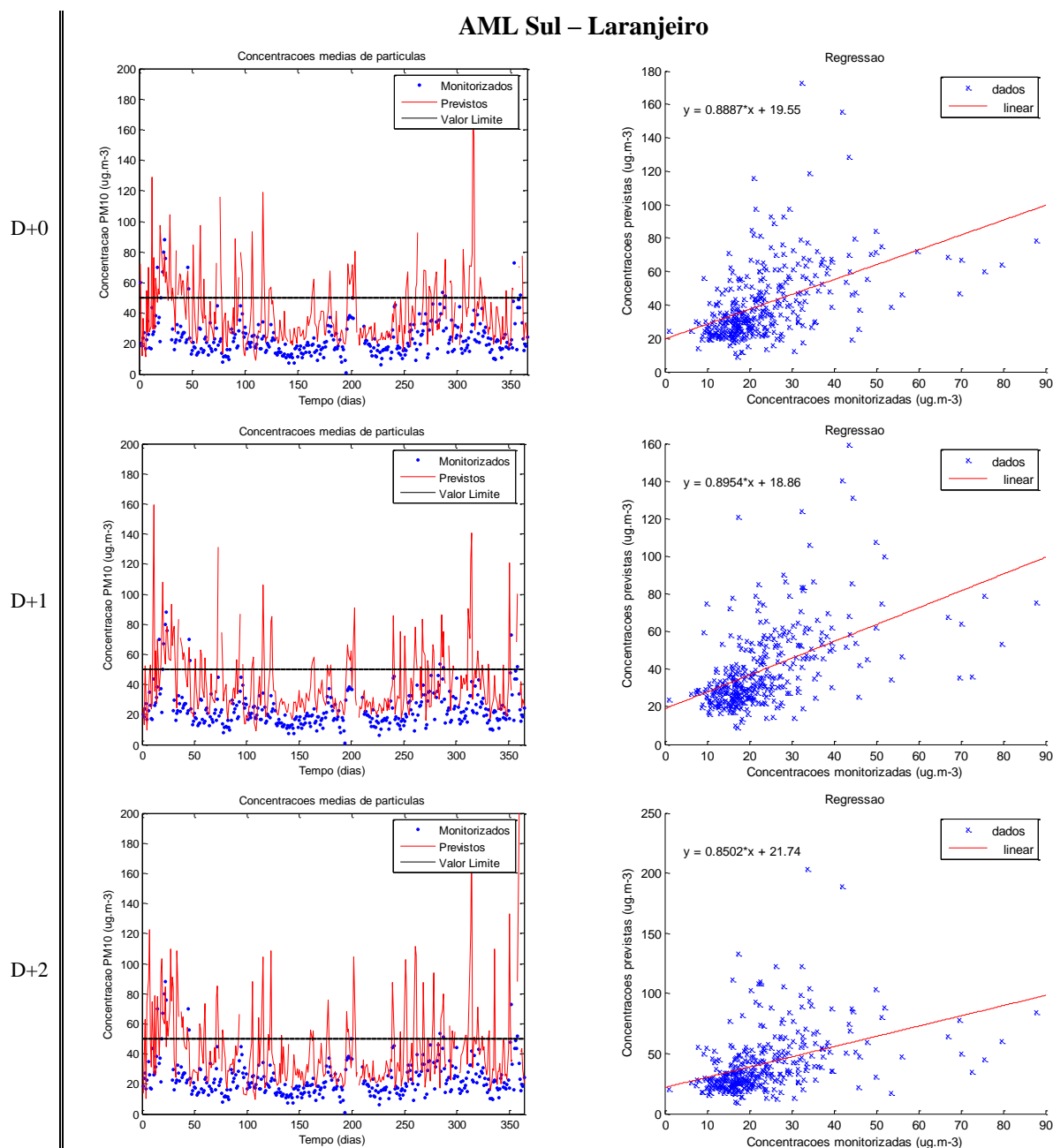
Através da visualização gráfica (séries temporais) verifica-se a elevada tendência que o sistema de previsão tem para sobrestimar as concentrações. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas. Entre D+1 e D+2 o comportamento da dispersão dos resultados altera-se, como se pode verificar pela análise de ambos os gráficos e pela recta de regressão obtida para D+2,  $y=0,8738x+7,052$ .

AML Sul – Laranjeiro



**Figura 40** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Laranjeiro.

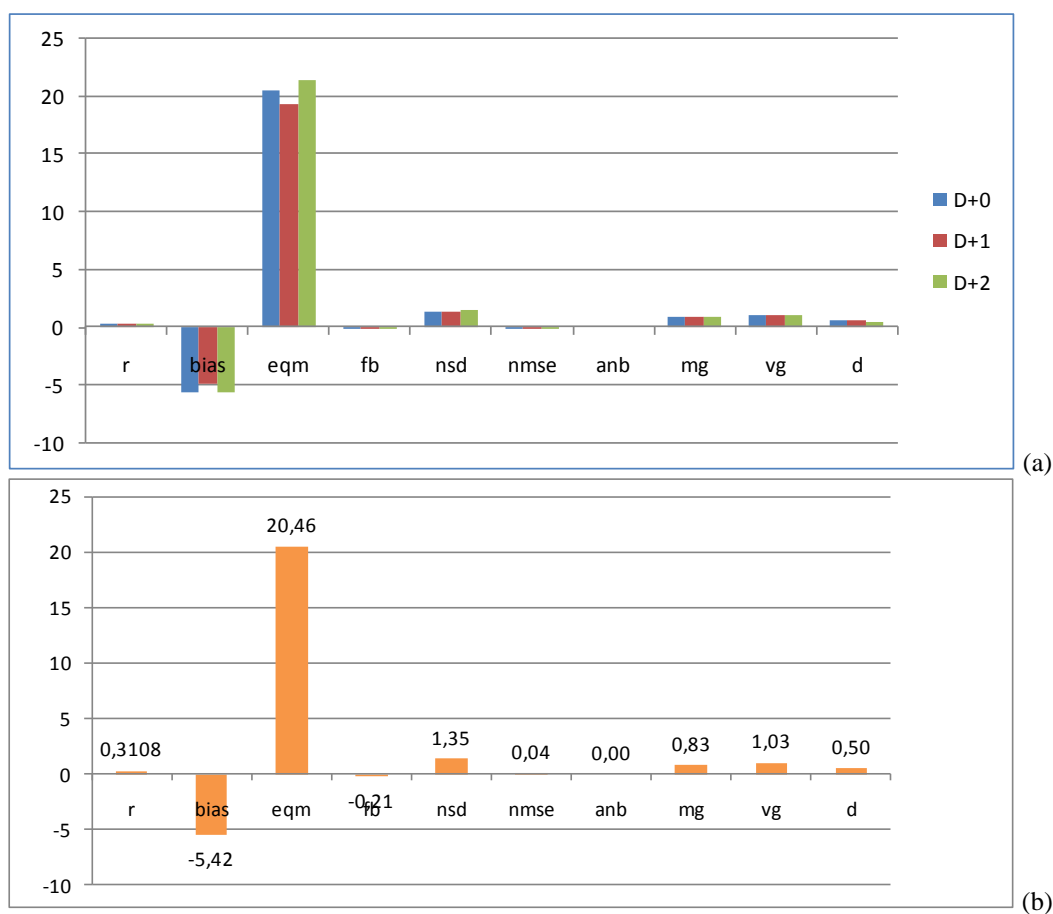
Na Figura 40(a) verifica-se a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $PM_{10}$  (bias negativo), com uma amplitude de erro elevada (~38). O coeficiente de correlação e o índice de concordância apresentam ambos um valor baixo de 0,3. Os parâmetros, FB e MG afastam-se dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são superiores (Tabela D.13, Anexo D). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 41** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

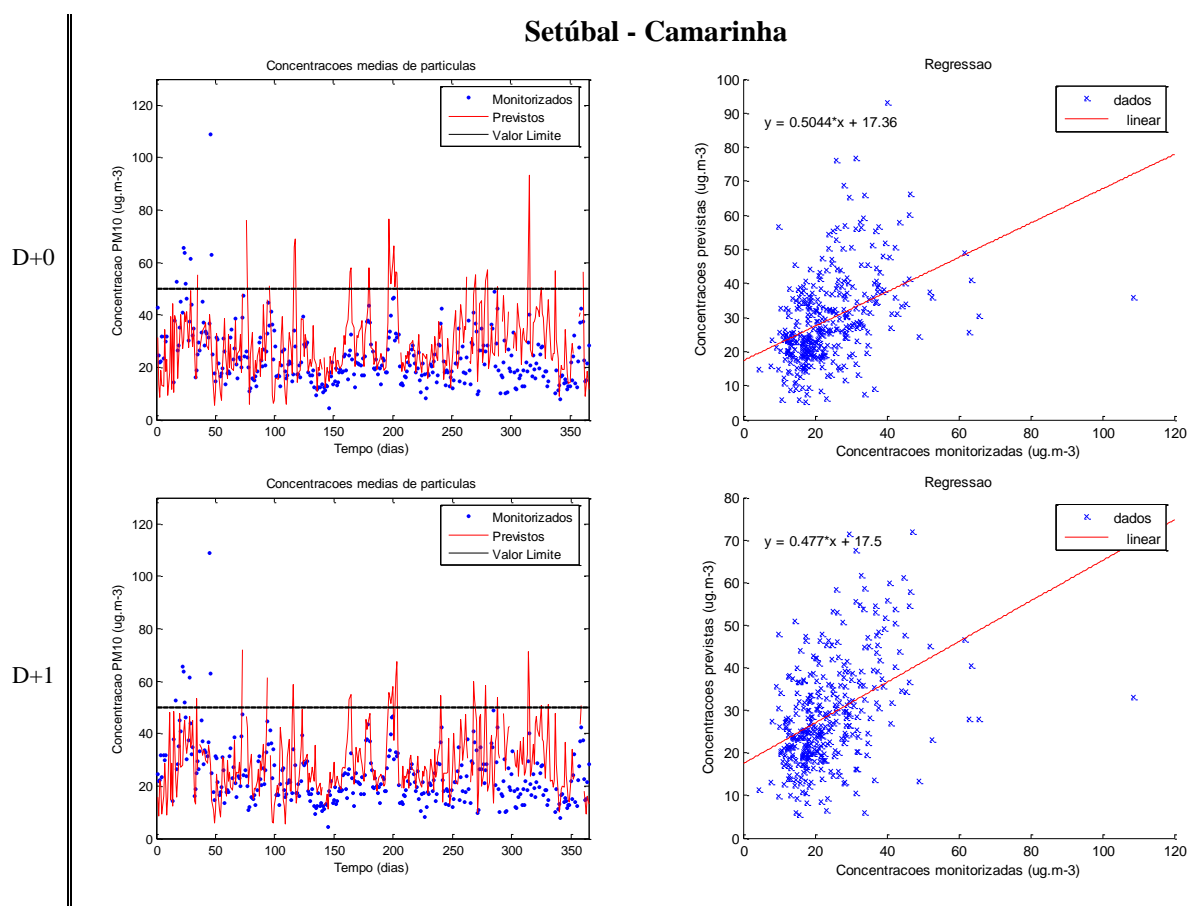
Através da visualização gráfica (séries temporais) verifica-se a elevada tendência que o sistema de previsão tem para sobrestimar as concentrações. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas. Entre D+1 e D+2 o comportamento da dispersão dos resultados altera-se, como se pode verificar pela análise de ambos os gráficos e pela recta de regressão obtida para D+2,  $y=0,8502x+21,74$ .

### Setúbal – Camarinha



**Figura 42** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Camarinha.

Na Figura 42(a) verifica-se a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $PM_{10}$  (bias negativo), com uma amplitude de erro próxima de 20. O coeficiente de correlação apresenta um valor de 0,3 e o índice de concordância apresenta um valor mais elevado de 0,5. Os parâmetros, FB e MG aproximam-se dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são inferiores (Tabela D.14, Anexo D). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 43** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

Através da análise das séries temporais verifica-se a elevada tendência que o sistema de previsão tem para sobrestimar as concentrações, não conseguindo, no entanto acompanhar os picos de concentração máximos monitorizados. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas. Entre D+1 e D+2 o comportamento da dispersão é idêntica, como se pode verificar pela análise de ambos os gráficos e pela recta de regressão obtida para D+2,  $y=0,4516x+18,79$  (Anexo D, Figura D.15).

A simulação de  $PM_{10}$ , comparativamente com os outros anos (2006 e 2007) apresenta valores um pouco abaixo dos esperados. Era suposto obter coeficientes de correlação na ordem dos 0,6 e, este ano estão abaixo dos 0,5. O BIAS é tipicamente negativo o que demonstra que as concentrações previstas de  $PM_{10}$  são bastante superiores às concentrações monitorizadas. A maior amplitude de erros ocorre para as estações que se localizam nas aglomerações da cidade do Porto, AML Norte e AML Sul, sendo o máximo (~37) atingido para a estação Laranjeiro, localizada na AML Sul. Relativamente aos restantes parâmetros (FB, MG, VG), estes não se afastam muito dos

dados geralmente obtidos neste tipo de previsão. no entanto, comparativamente com os dados obtidos para o  $O_3$ , são superiores, o que demonstra a existência de erros aleatórios e sistemáticos na previsão da concentração deste poluente.

Analizando, cada dia de previsão, tal como acontece para a previsão do  $O_3$ , é possível verificar que o desempenho da simulação não apresenta variações muito significativas, embora apresente um ligeiro decréscimo de D+0 para D+2, como se pode verificar pela análise dos gráficos. No entanto, para a estação de Ervedeira da zona Centro Litoral, verifica-se piores resultados para o primeiro dia de previsão. Os “scatter plots”, para esta validação apresentam grande dispersão em torno da recta, havendo tendência para o aumento da dispersão dos dados de D+0 para D+2, demonstrando o desfazamento existente entre os dados monitorizados e previstos.

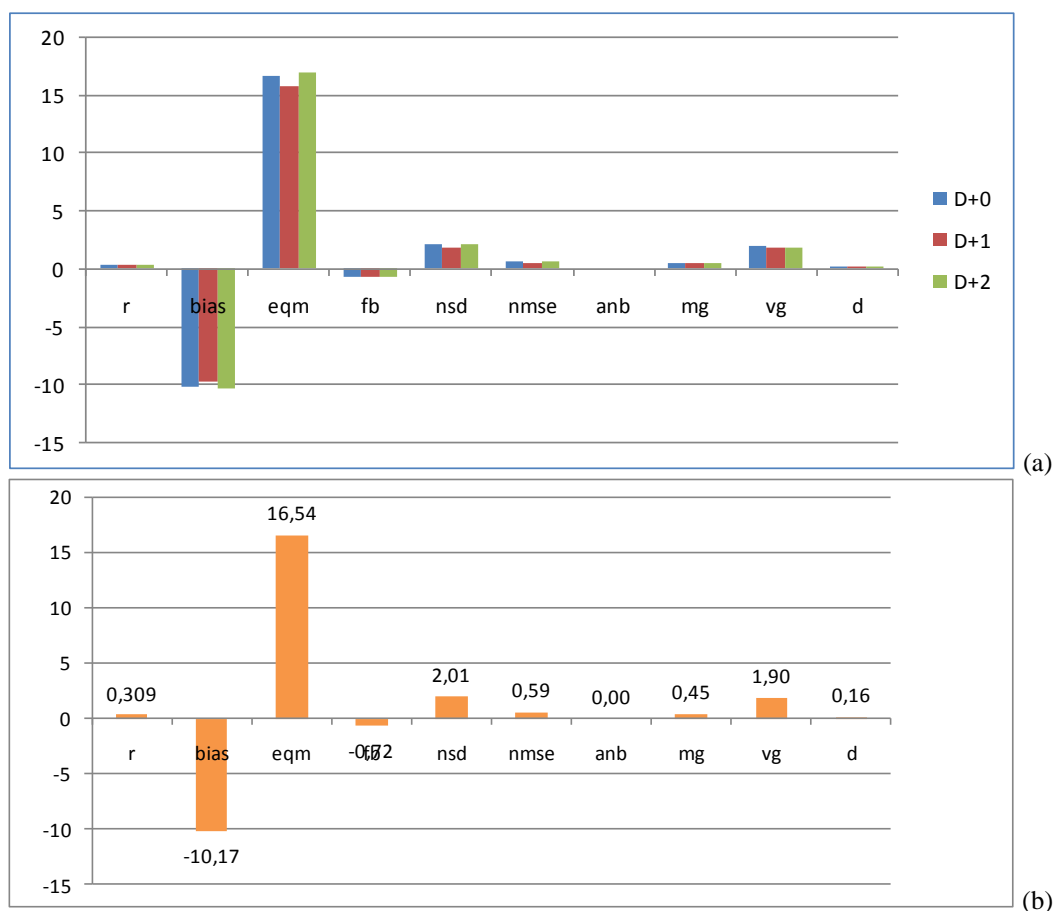
### 6.2.3 $PM_{2.5}$

Esta é uma das novidades deste trabalho, dado que é a primeira vez que se está a validar o desempenho do modelo relativamente às  $PM_{2.5}$ . Tal facto, deve-se à ausência de estações de monitorização de  $PM_{2.5}$  até ao ano de 2007.

Para a obtenção dos gráficos, tal como para as  $PM_{10}$ , também se recorreu às concentrações médias diárias das concentrações monitorizadas e das concentrações previstas. Nos gráficos das séries temporais apresenta-se o valor-limite de  $20 \mu g.m^{-3}$ . A validação do sistema de previsão para este poluente vai contemplar todas as estações, independentemente do tipo de influência, uma vez que é a primeira vez que este procedimento está a ser efectuado. No entanto, devido à impossibilidade de se apresentar todas as estações, apenas vão ser apresentadas as estações de fundo, estando as restantes validações no Anexo E.

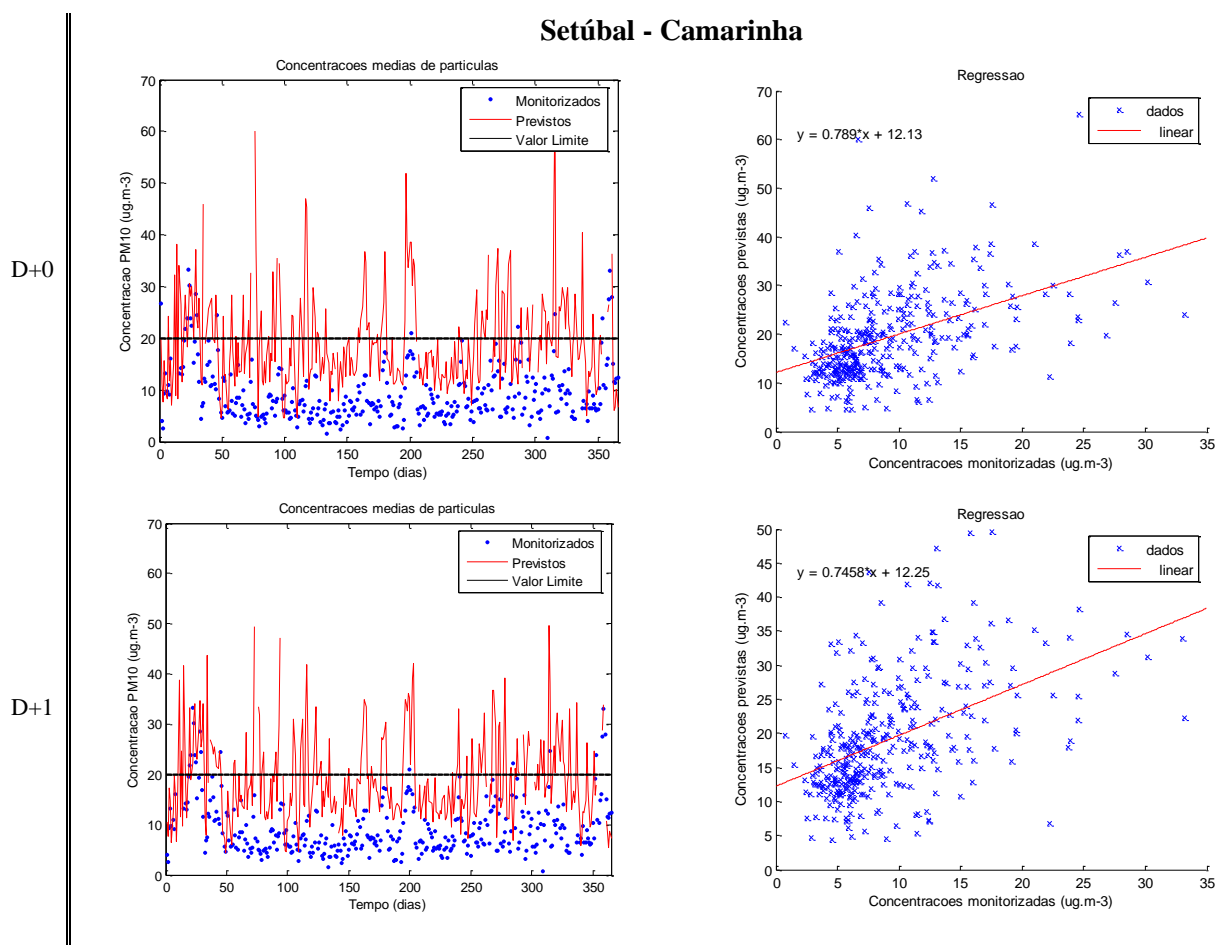


Setúbal – Camarinha



**Figura 44** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Camarinha.

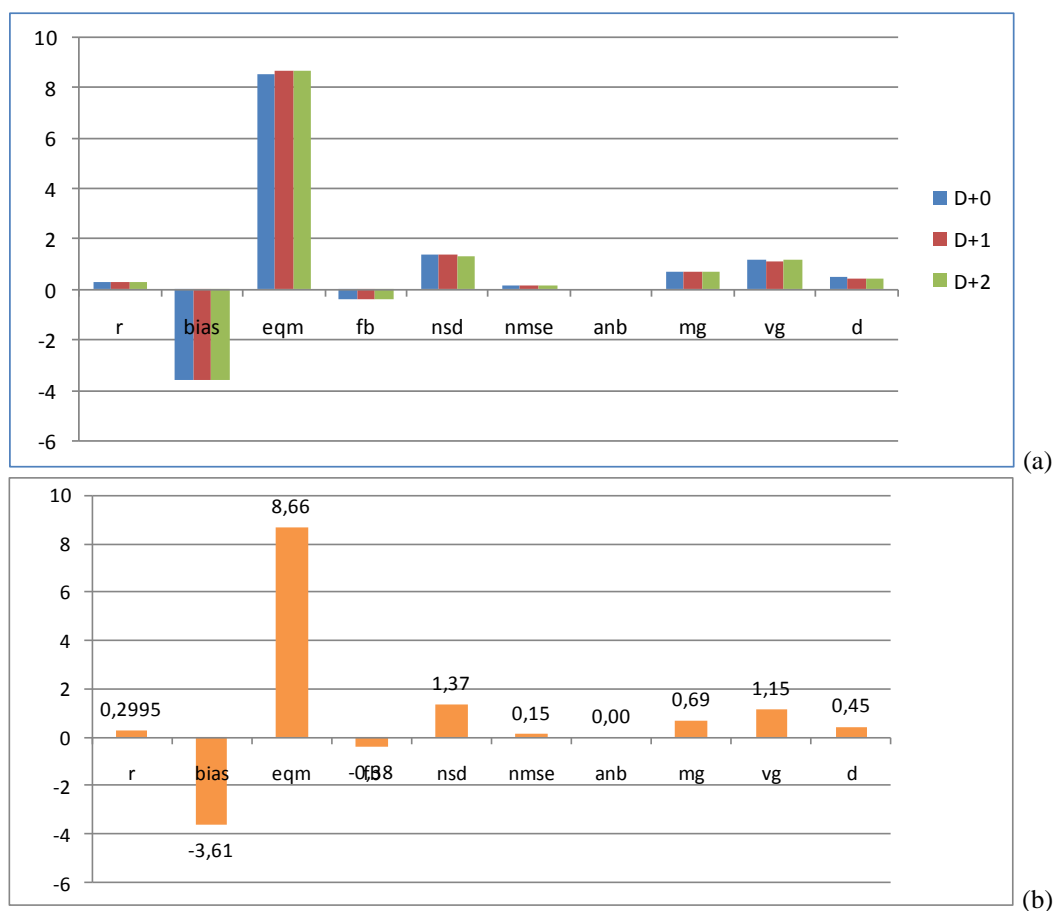
A Figura 44(a) permite verificar a tendência do sistema de previsão para sobestimar as concentrações de  $PM_{2.5}$  (bias negativo), com uma amplitude de erro próximo de 17. O coeficiente de correlação apresenta um valor de 0,3 e o índice de concordância apresenta um valor mais baixo de 0,2. Os parâmetros, FB e MG afastam-se dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são superiores (Tabela E.1, Anexo E). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 45** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

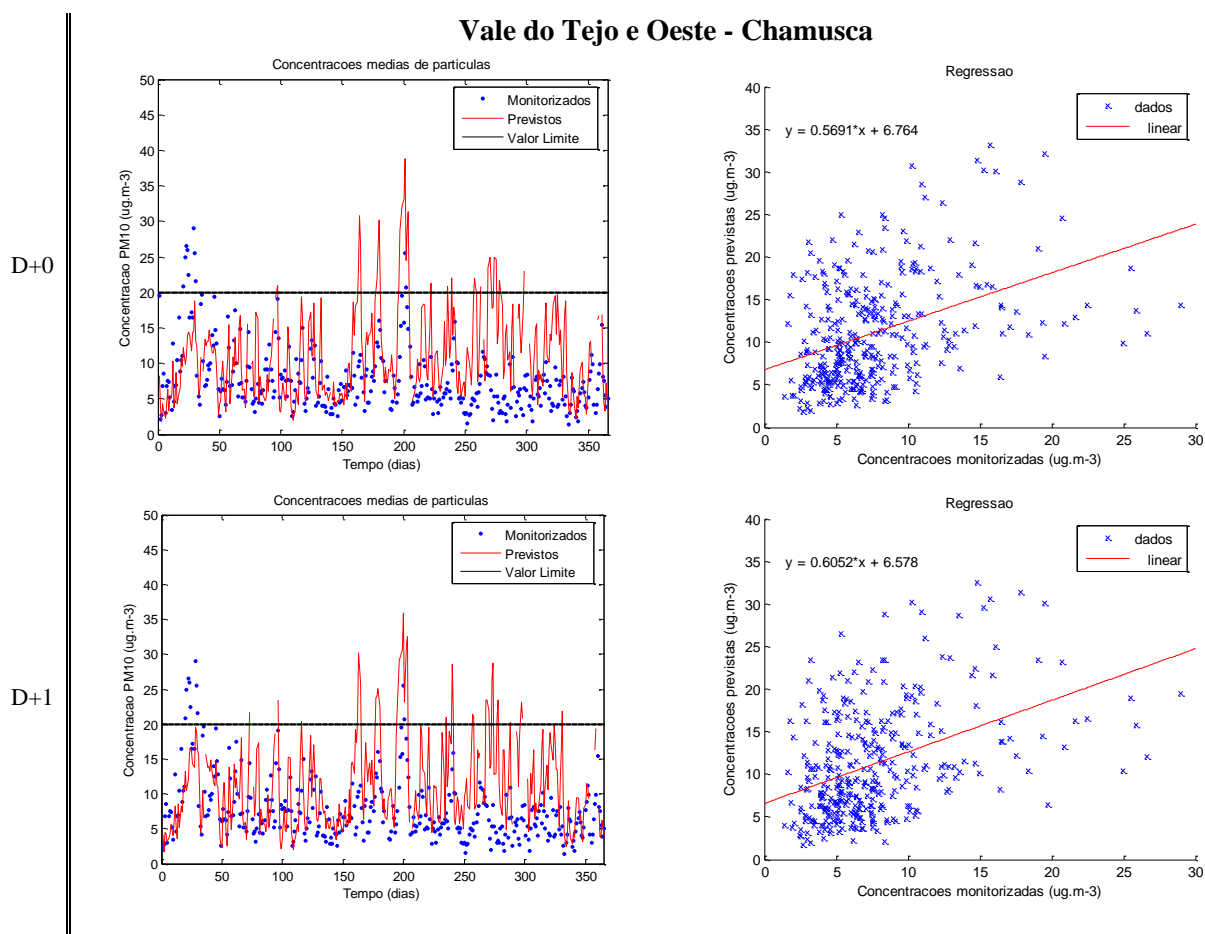
Através da visualização gráfica (séries temporais) verifica-se a elevada tendência que o sistema de previsão tem para sobrestimar as concentrações, ultrapassando o valor-limite para as  $PM_{2.5}$ , o que nem sempre se verificou na realidade. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas. Entre D+1 e D+2 o comportamento da dispersão é idêntica, como se pode verificar pela análise de ambos os gráficos e pela recta de regressão obtida para D+2,  $y=0,8393x+11,98$  (Anexo E, Figura E.1).

Vale do Tejo e Oeste - Chamusca



**Figura 46** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Chamusca.

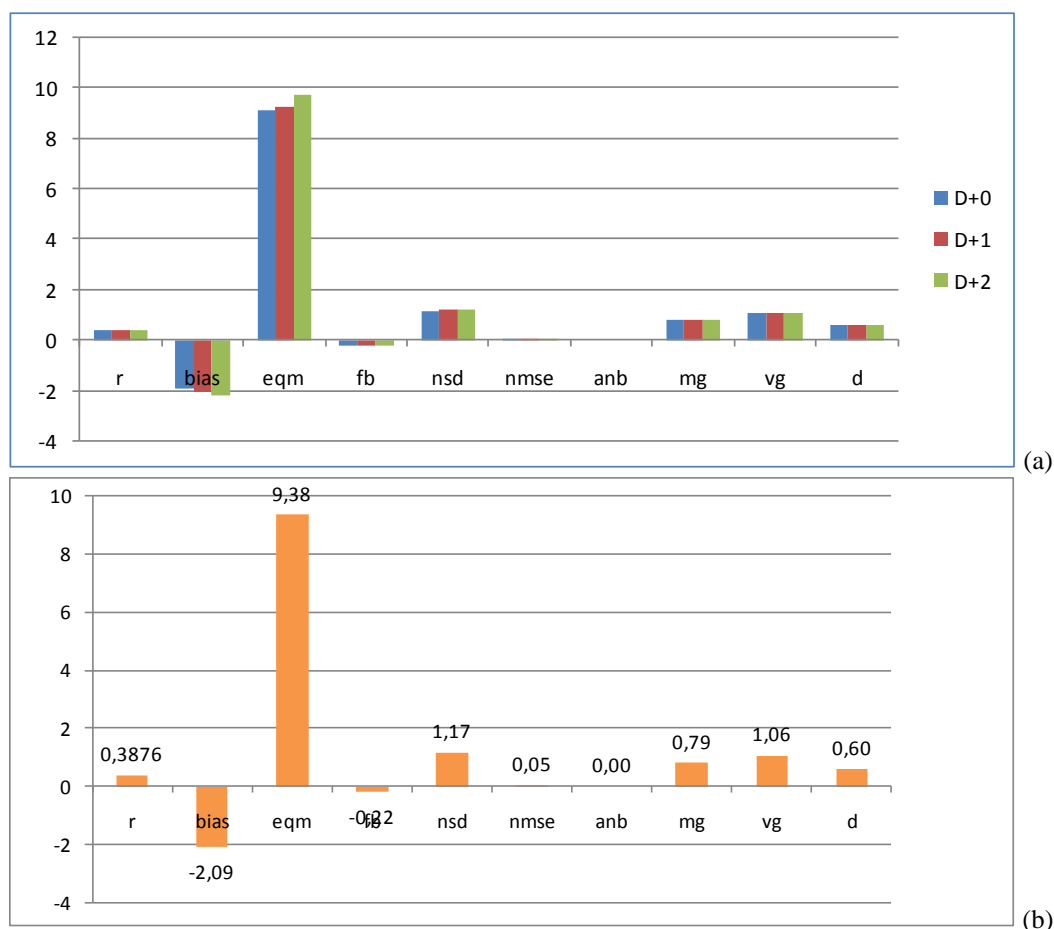
A Figura 46(a) permite verificar a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $PM_{2.5}$  (bias negativo), com uma amplitude de erro inferior a 10. O coeficiente de correlação apresenta um valor de 0,3 e o índice de concordância apresenta um valor mais elevado de 0,5. Os parâmetros, FB e MG aproximam-se dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são inferiores (Tabela E.2, Anexo E). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 47** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

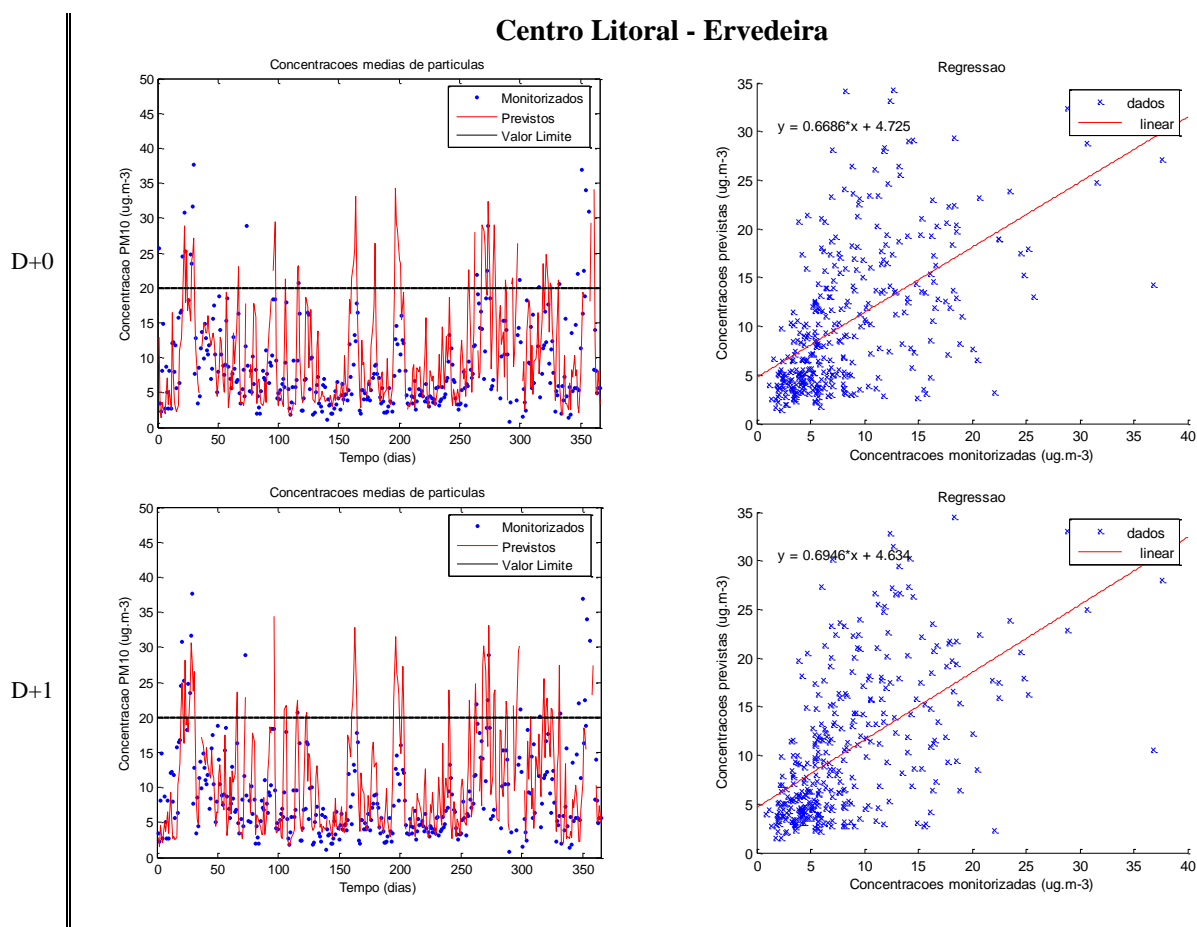
Na Figura 47, através da visualização das séries temporais verifica-se a elevada tendência que o sistema de previsão tem para sobrestimar as concentrações. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas. Entre D+1 e D+2 o comportamento da dispersão é idêntica, como se pode verificar pela análise de ambos os gráficos e pela recta de regressão obtida para D+2,  $y=0,5416x+7,126$  (Anexo E, Figura E.2).

### Centro Litoral – Ervedeira



**Figura 48** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Ervedeira.

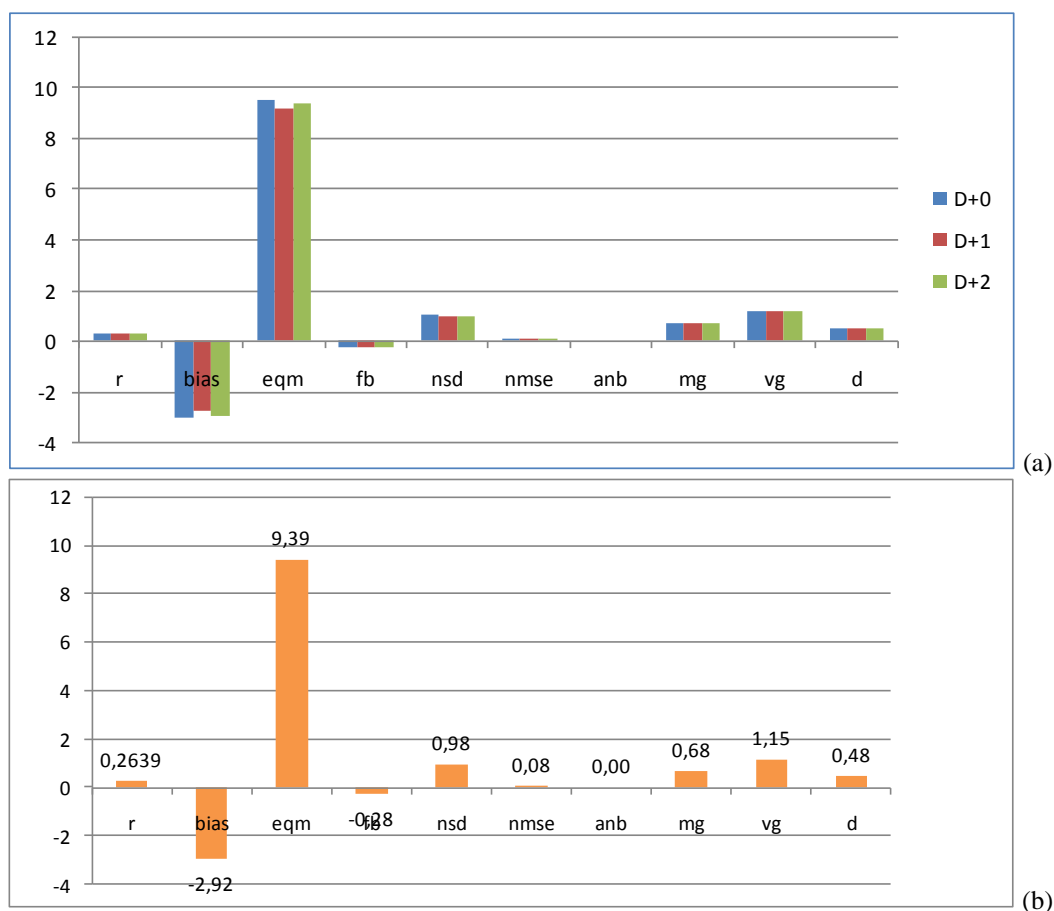
Através da análise da Figura 48(a) verifica-se a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $PM_{2.5}$  (bias negativo), com uma amplitude de erro inferior a 10. O coeficiente de correlação apresenta um valor de 0,4 e o índice de concordância apresenta um valor mais elevado de 0,6. Os parâmetros, FB e MG aproximam-se dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são inferiores (Tabela E.3, Anexo E). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 49** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

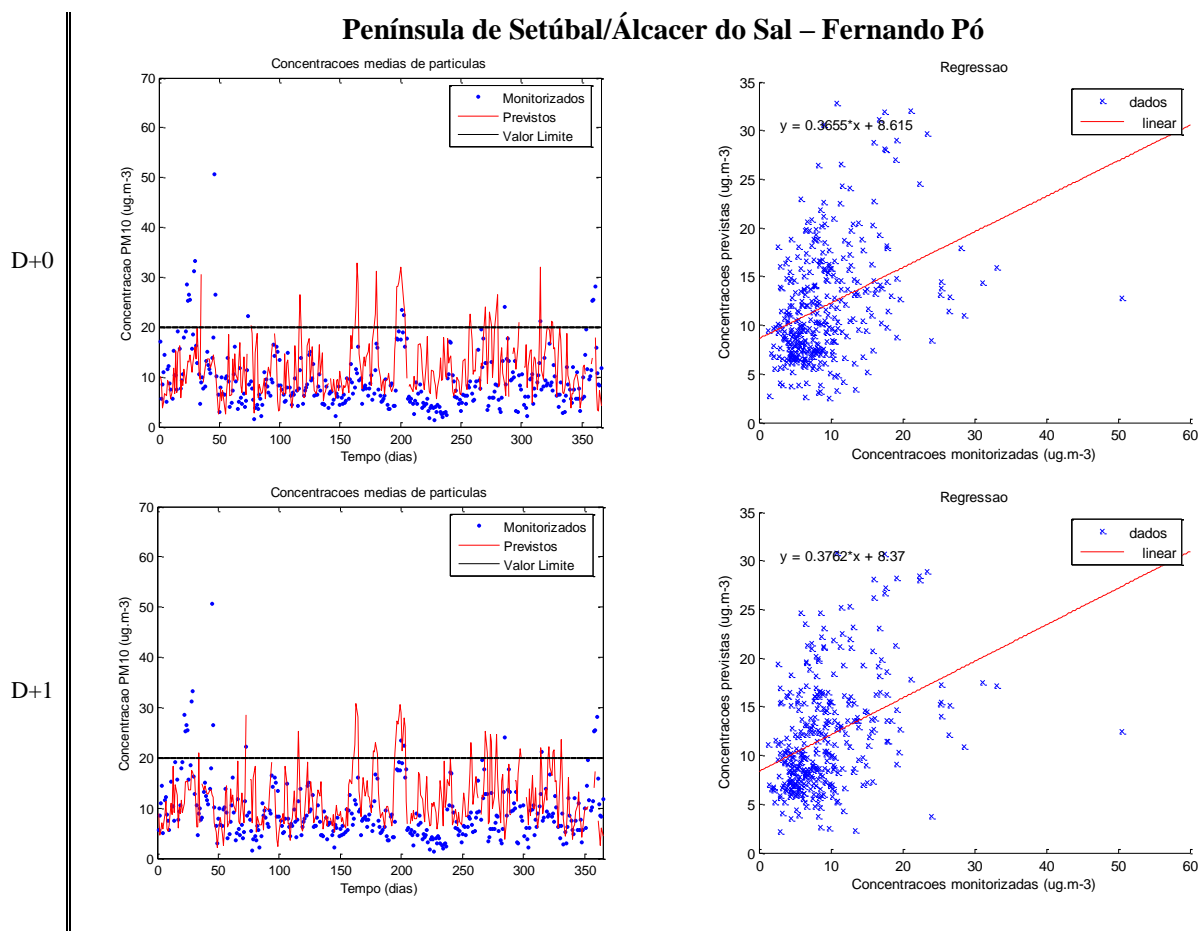
Através da visualização gráfica (séries temporais) verifica-se a elevada tendência que o sistema de previsão tem para sobrestimar as concentrações. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas. Entre D+1 e D+2 o comportamento da dispersão é idêntica, como se pode verificar pela análise de ambos os gráficos e pela recta de regressão obtida para D+2,  $y=0,6393x+5,376$  (Anexo E, Figura E.3).

Península de Setúbal/Álcacer do Sal – Fernando Pó



**Figura 50** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Fernando Pó.

Na Figura 50(a) verifica-se a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $PM_{2.5}$  (bias negativo), com uma amplitude de erro inferior a 10. O coeficiente de correlação apresenta um valor de 0,3 e o índice de concordância apresenta um valor mais elevado de 0,5. Os parâmetros, FB e MG aproximam-se dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são inferiores (Tabela E.4, Anexo E). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.

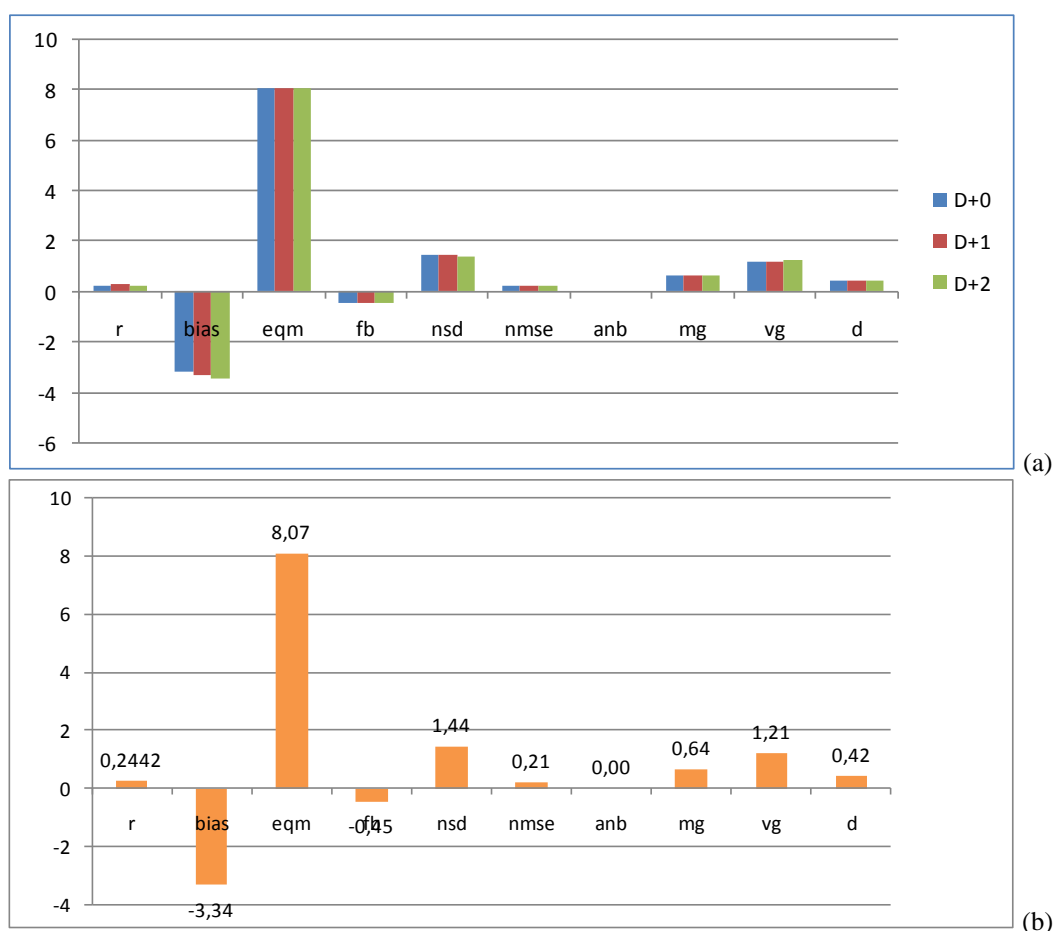


**Figura 51** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

Através da análise da Figura 51, séries temporais, verifica-se a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações, não conseguindo, no entanto atingir os picos das concentrações máximas monitorizadas. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas. Entre D+1 e D+2 o comportamento da dispersão é idêntica, como se pode verificar pela análise de ambos os gráficos e pela recta de regressão obtida para D+2,  $y=0,3772x+8,611$  (Anexo E, Figura E.4).

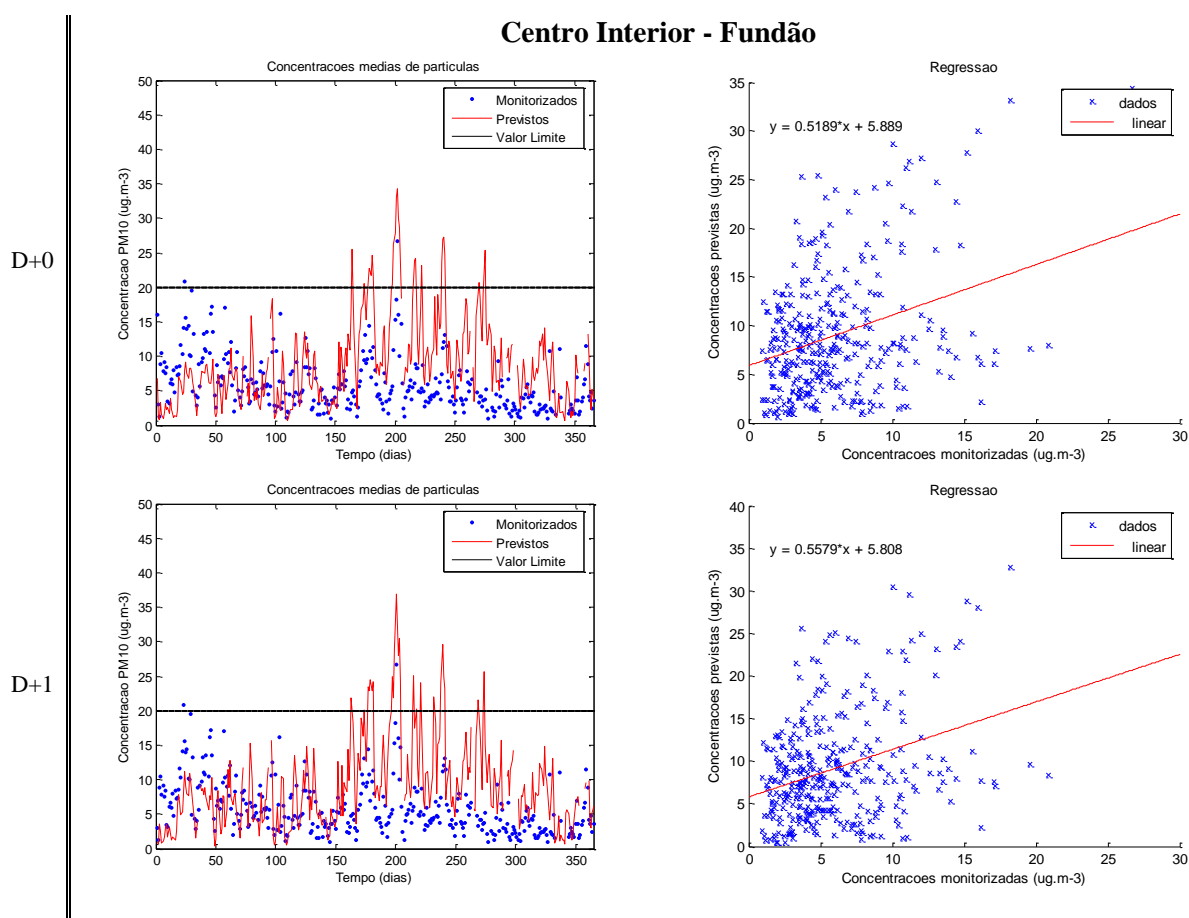


### Centro Interior - Fundação



**Figura 52** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Fundação.

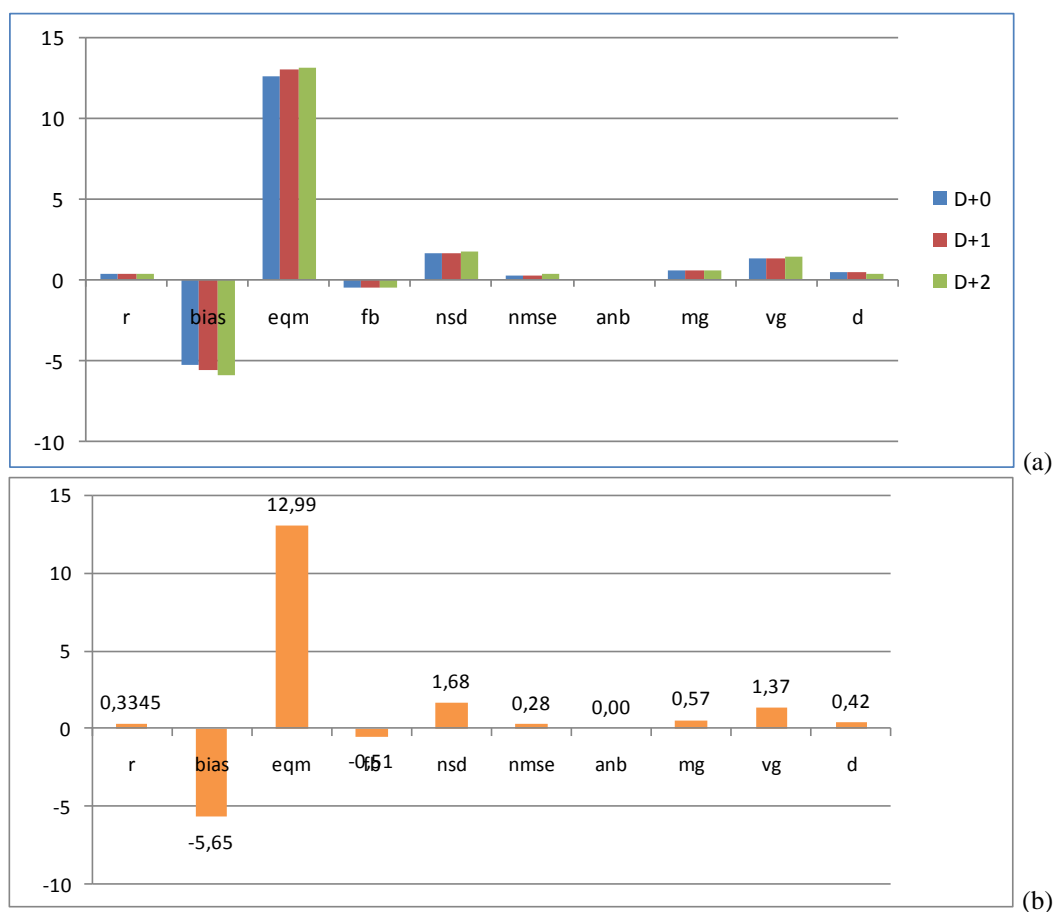
A Figura 52(a) permite verificar a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $PM_{2,5}$  (bias negativo), com uma amplitude de erro inferior a 10. O coeficiente de correlação apresenta um valor de 0,2 e o índice de concordância apresenta um valor mais elevado de 0,4. Os parâmetros, FB e MG aproximam-se dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são inferiores (Tabela E.8, Anexo E). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 53** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

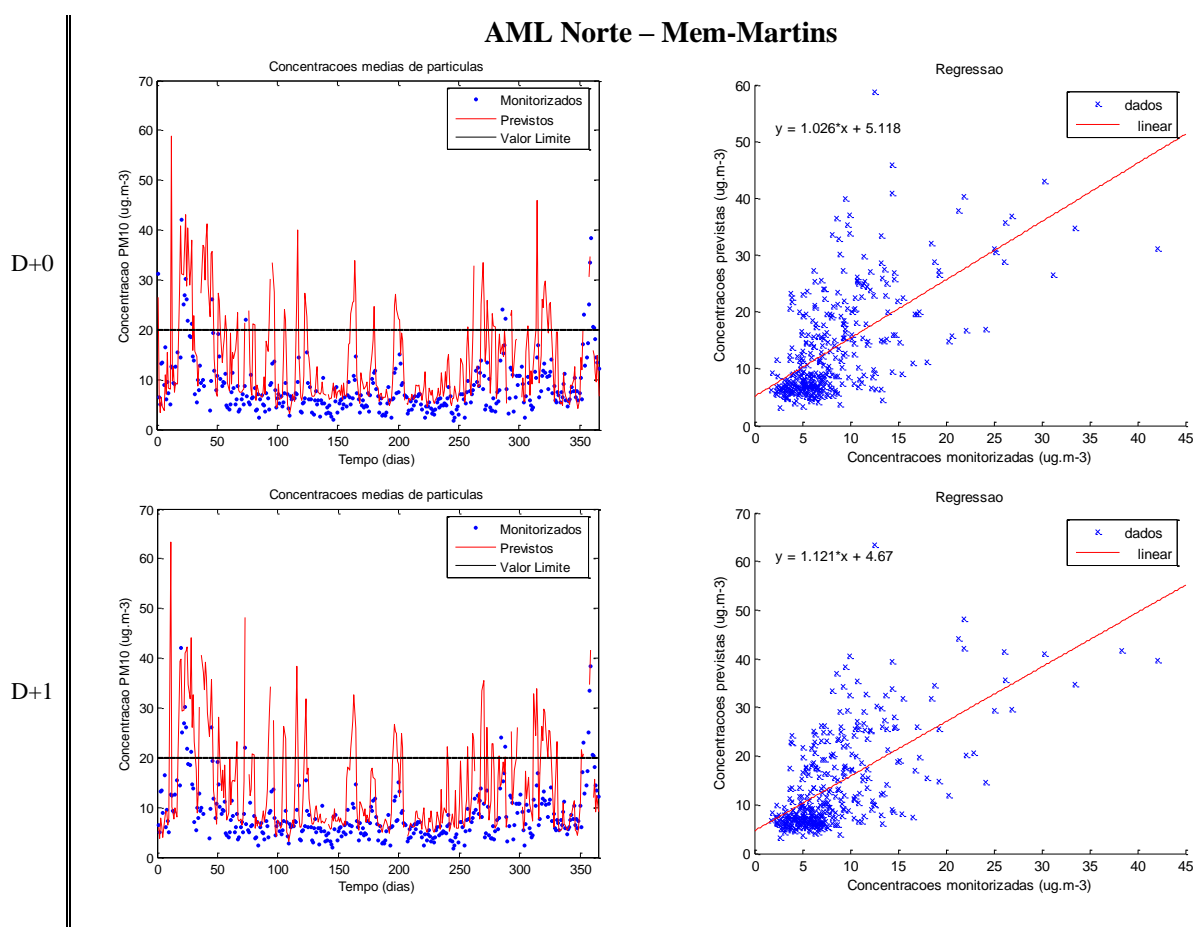
Pela análise das séries temporais verifica-se a elevada tendência que o sistema de previsão tem para sobrestimar as concentrações. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas. Entre D+1 e D+2 o comportamento da dispersão é idêntica, como se pode verificar pela análise de ambos os gráficos e pela recta de regressão obtida para D+2,  $y=0,5083x+6,216$  (Anexo E, Figura E.13).

# AML Norte – Mem-Martins



**Figura 54** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Mem-Martins.

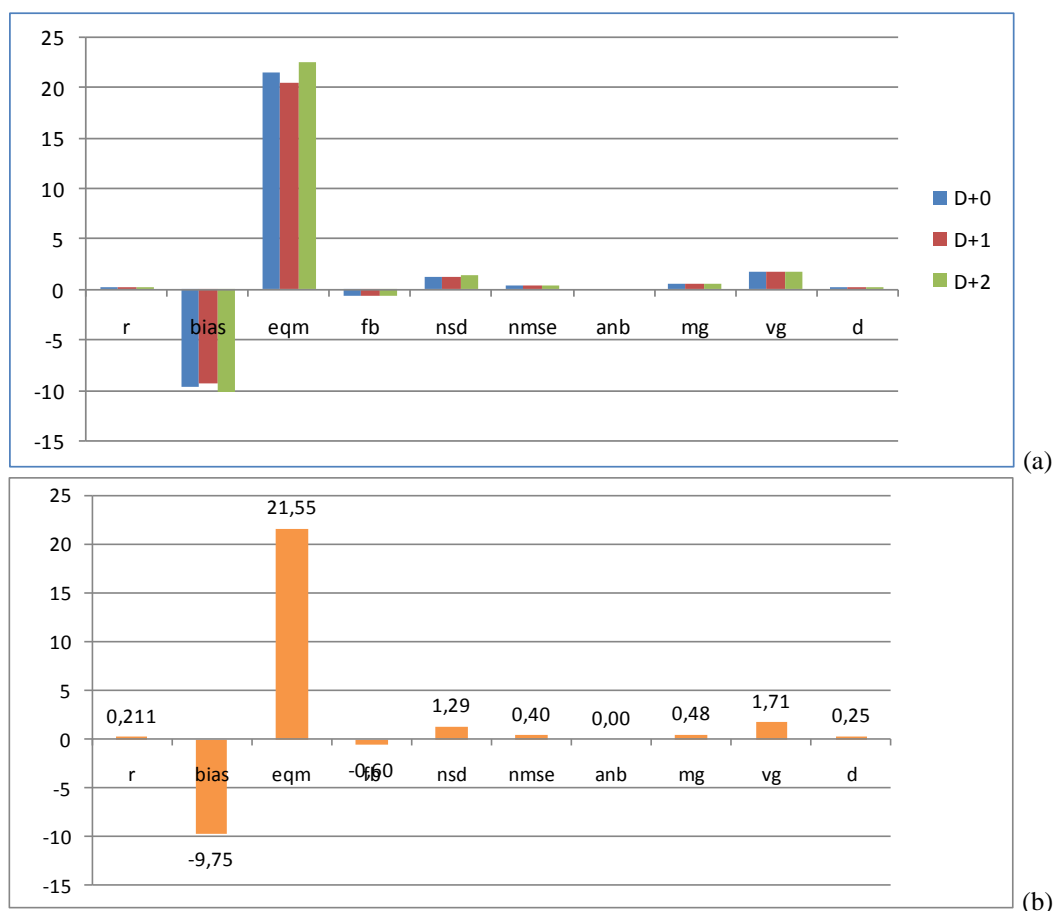
Na Figura 54(a) verifica-se a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $PM_{2.5}$  (bias negativo), com uma amplitude de erro não muito elevada (~13). O coeficiente de correlação apresenta um valor de 0,3 e o índice de concordância apresenta um valor de 0,4. Os parâmetros, FB e MG afastam-se dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são superiores (Tabela E.9, Anexo E). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 55** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

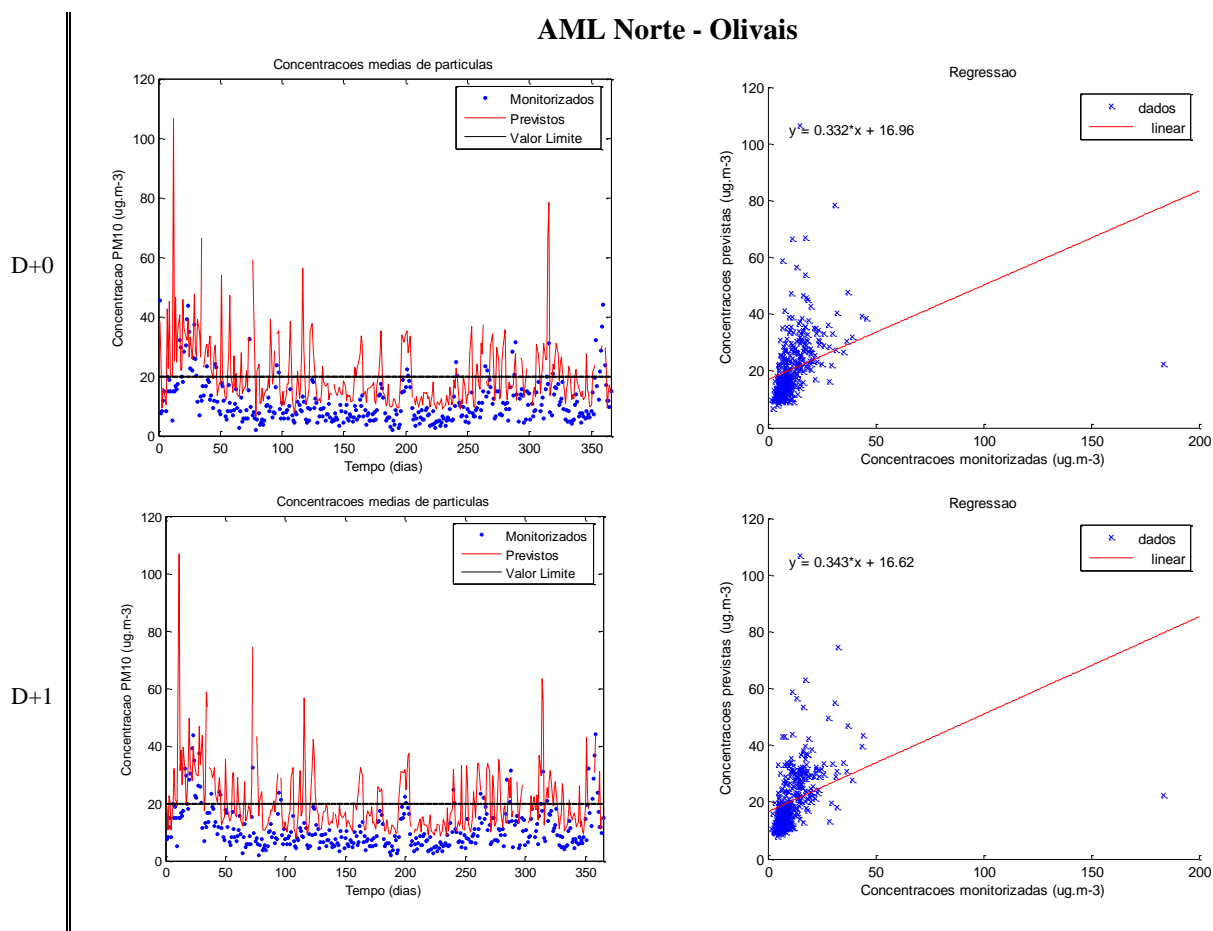
Através da visualização gráfica (séries temporais) verifica-se a elevada tendência que o sistema de previsão tem para sobrestimar as concentrações. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas. Entre D+1 e D+2 o comportamento da dispersão é idêntica, como se pode verificar pela análise de ambos os gráficos e pela recta de regressão obtida para D+2,  $y=1,018x+5,972$  (Anexo E, Figura E.14).

# AML Norte - Olivais



**Figura 56** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Olivais.

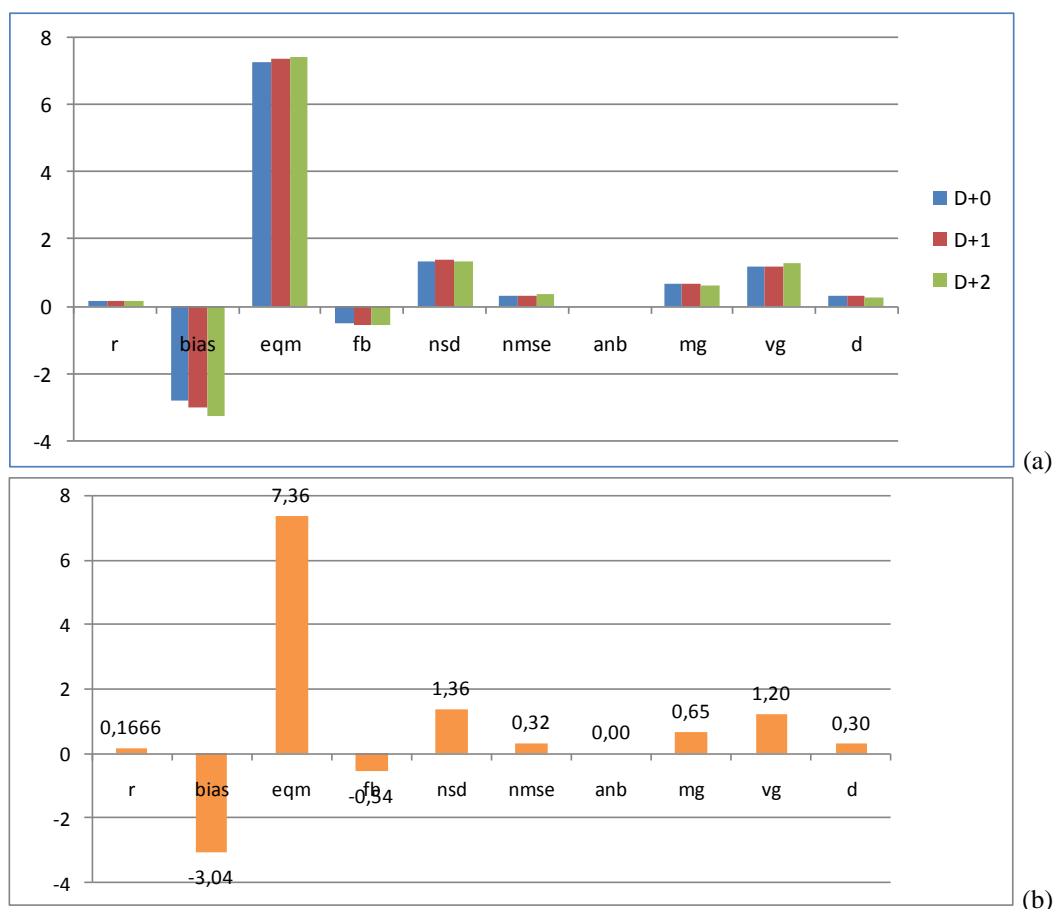
Na Figura 56(a) verifica-se a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $PM_{2,5}$  (bias negativo), com uma amplitude de erro superior a 20. O coeficiente de correlação apresenta um valor reduzido (0,2) e o índice de concordância apresenta um valor de 0,3. Os parâmetros, FB e MG afastam-se dos seus valores ideais, 0 e 1, respectivamente, demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são superiores (Tabela E.10, Anexo E). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 57** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

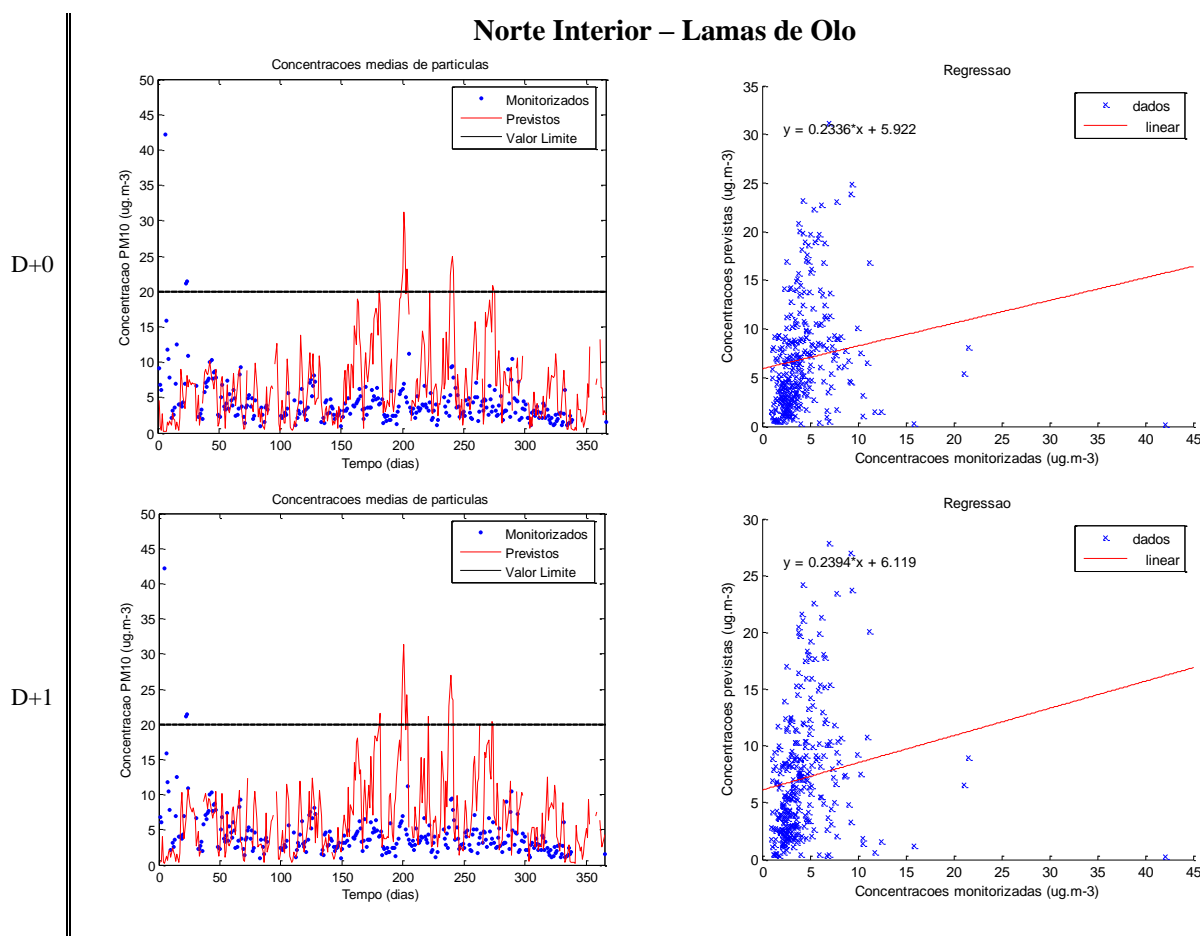
A análise das séries temporais permite verificar a elevada tendência que o sistema de previsão tem para sobrestimar as concentrações. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas. Entre D+1 e D+2 o comportamento da dispersão é idêntica, como se pode verificar pela análise de ambos os gráficos e pela recta de regressão obtida para D+2,  $y = 0,355x + 17,2$  (Anexo E, Figura E.15).

### Norte Interior – Lamas de Olo



**Figura 58** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Lamas de Olo.

Na Figura 58(a) verifica-se a tendência do sistema de previsão para sobrestimar as concentrações de  $PM_{2.5}$  (bias negativo), com uma amplitude de erro inferior a 10. O coeficiente de correlação apresenta um valor muito reduzido (0,2) e o índice de concordância apresenta um valor de 0,3. O parâmetro MG aproxima-se do seu valor ideal (1), demonstrando que os erros sistemáticos inerentes ao sistema de previsão são inferiores (Tabela E.11, Anexo E). O segundo gráfico apresenta a média dos três dias de previsão obtida para cada parâmetro estatístico, frisando as conclusões a retirar do primeiro gráfico.



**Figura 59** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

Através da visualização gráfica (séries temporais) verifica-se a elevada tendência que o sistema de previsão tem para sobrestimar as concentrações. Os “scatter plots”, para D+0 e D+1 são idênticos, apresentando rectas de regressão linear próximas. Entre D+1 e D+2 o comportamento da dispersão é idêntica, como se pode verificar pela análise de ambos os gráficos e pela recta de regressão obtida para D+2,  $y=0,2051x+6,477$  (Anexo E, Figura E.16).

De forma geral, para as estações de monitorização de  $PM_{2.5}$ , o coeficiente de correlação e o índice de concordância obtidos são muito baixos. No entanto o EQM, comparativamente com os outros dois poluentes é mais baixo, o que pode significar que os erros entre a previsão e medição, para a previsão de  $PM_{2.5}$  são mais inconstantes que os verificados para o  $O_3$  e  $PM_{10}$ . Tal como as  $PM_{10}$ , o FB, VG e MG apresentam valores suficientemente mais elevados para se poder assumir a existência de erros aleatórios e sistemáticos associados à previsão.



Os resultados obtidos evidenciam falhas ao nível da modelação deste poluente, não sendo capaz de representar a magnitude da concentração destas partículas. Existem duas possíveis fontes de erro, relacionadas com o inventário de emissões, que por sua vez já sobrestimam bastante as  $PM_{2.5}$  [Monteiro, 2007] e com o módulo numérico de aerossóis, que por algum motivo está a promover a formação em excesso destas partículas, sobrestimando assim a concentração real.

A diminuição do desempenho do sistema de previsão para a previsão das partículas ( $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$ ) pode estar relacionada com a crise económica. No ano 2008, segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), houve uma redução no mercado de trabalho e muitas empresas tiveram que encerrar, nomeadamente as de construção civil, que são as grandes emissoras de partículas. Este é um ponto a ser tido em conta, quando se realizar a melhoria do inventário de emissões.

### 6.3 Análise de incertezas

Esta etapa é de extrema importância para a garantia e controlo da qualidade do sistema de previsão. De acordo com a legislação, existem dois parâmetros definidos para calcular a incerteza total associada a um sistema de previsão, tais como o RME e RPE, definidos no capítulo 5 (sub-capítulo 5.5). No entanto, através da aplicação destes dois parâmetros muito dificilmente se consegue definir a incerteza de um modelo. Assim sendo, recorre-se à análise da concordância de índices e dos indicadores de desempenho:

- **Concordância de índices:** quantificando a percentagem de dias em que o IQA previsto corresponde ao observado;
- **Falso alarme para os IQA fraco e mau:** determina a percentagem de dias em que foi previsto um IQA fraco ou mau, sendo verificado um índice de perigosidade inferior;
- **Probabilidade de detecção dos IQA fraco e mau:** razão percentual entre o somatório de dias em que se previu e observou simultaneamente o mesmo IQA (fraco ou mau) e o total dos dias em que ocorreu observação de IQA fraco ou mau.

Esta análise é efectuada, uma vez que a divulgação da previsão da qualidade do ar é realizada através dos IQA. A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) determina o IQA a partir dos dois poluentes mais críticos ( $O_3$  e  $PM_{10}$ ), não entrando com as  $PM_{2.5}$ , e por isso, neste capítulo apenas se analisam estes dois poluentes, tendo em conta os dados previstos e observados para o ano 2008, para as oito estações apresentadas nas etapas anteriores. Os resultados para as restantes estações estão disponíveis nos Anexos F, G e H.

### 6.3.1 Indicadores de desempenho

Um dos objectivos do sistema de previsão é a sua capacidade de prever correctamente as concentrações máximas de  $O_3$ , nomeadamente as concentrações superiores aos limites legislados,  $180 \mu\text{g.m}^{-3}$  e  $240 \mu\text{g.m}^{-3}$ , e detectar com sucesso a ocorrência de episódios de  $PM_{10}$ . Para isso, foi analisada a capacidade do sistema de modelos em prever as excedências das concentrações de partículas ao valor limite diário estabelecido para a protecção da saúde humana,  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ . As Tabelas 8 e 9 resumem o desempenho do sistema de previsão das ultrapassagens aos referidos limites legislativos, utilizando os indicadores de desempenho, falso alarme e probabilidade de detecção, respectivamente.

**Tabela 8** – Falso Alarme (%) para os IQA fraco e mau, para o  $O_3$  (a) e  $PM_{10}$  (b), para o ano 2008.

Falso Alarme - $O_3$				Falso Alarme - $PM_{10}$			
	D+0	D+1	D+2		D+0	D+1	D+2
CHA	0,0	0,0	0,0	CHA	2,0	2,3	0,9
ERM	0,0	0,0	0,0	ERM	21,7	22,7	21,9
FRN	0,0	0,0	0,0	FRN	1,7	1,3	0,3
FUN	0,0	0,0	0,0	FUN	1,5	1,5	0,1
LAR	0,6	0,0	0,6	LAR	22,2	22,0	21,1
MARQ	0,0	0,0	0,3	MARQ	7,7	9,2	9,2
CAM	0,0	0,3	0,9	CAM	8,1	6,9	8,4
E R V	0,0	0,0	0,0	E R V	1,2	0,6	0,9
<b>Média</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>	<b>Média</b>	<b>8,3</b>	<b>8,3</b>	<b>7,9</b>

(a)

(b)

Relativamente aos falsos alarmes, é notória a diferença entre os resultados obtidos para o  $O_3$  e para as  $PM_{10}$ . A média para o  $O_3$  não excede os 0,2%, enquanto no caso das  $PM_{10}$  ronda os 8,3%. Esta discrepância entre os dois poluentes pode estar relacionada com o facto do sistema de previsão estar a sobrestimar as concentrações de partículas, apresentando assim um maior número de excedências ao valor legislado.

**Tabela 9** – Probabilidade de detecção (%) para os IQA fraco e mau, para o O<sub>3</sub> (a) e PM<sub>10</sub> (b), para o ano 2008.

Probabilidade Detecção - O <sub>3</sub>				Probabilidade Detecção - PM <sub>10</sub>			
	D+0	D+1	D+2		D+0	D+1	D+2
CHA	0,0	0,0	0,0	CHA	0,0	0,0	0,0
ERM	0,0	0,0	0,0	ERM	71,0	73,3	83,3
FRN	0,0	12,5	0,0	FRN	33,3	33,3	31,0
FUN	-	-	-	FUN	50,0	100,0	100,0
LAR	0,0	0,0	0,0	LAR	75,0	69,2	61,5
MARQ	0,0	0,0	0,0	MARQ	50,0	75,0	50,0
CAM	100,0	100,0	0,0	CAM	0,0	0,0	0,0
E R V	-	-	-	E R V	0,0	0,0	0,0
<b>Média</b>	<b>16,7</b>	<b>18,8</b>	<b>0,0</b>	<b>Média</b>	<b>41,2</b>	<b>43,9</b>	<b>34,8</b>

(a)

(b)

Em relação à probabilidade de detecção, no caso do O<sub>3</sub> existe uma variação significativa ao longo dos dias simulados, principalmente entre o segundo e o terceiro dia de previsão. Nas estações de Fundão e Ervedeira não houve previsão nem observação de IQA fraco ou mau. Em 2006, no estudo realizado por Monteiro [2007], as percentagens obtidas para a probabilidade de detecção foram mais elevadas para ambos os poluentes, bem como as percentagens obtidas para o falso alarme. Este desfazamento relativamente aos valores de 2006 não significa um decréscimo do desempenho do sistema, mas sim uma significativa melhoria na qualidade do ar, contribuindo para uma menor produção de poluentes fotoquímicos. Em termos de probabilidade de detecção, os valores apresentam-se mais favoráveis para as PM<sub>10</sub>, uma vez que em 2008, o cenário mais crítico em termos de exposição se relaciona com este poluente e a probabilidade do sistema de previsão em detectar estas concentrações é maior.

### 6.3.2 Concordância de índices

A análise da concordância de índices está associada à comparação entre o IQA previsto e observado, visando a análise das incertezas do sistema de previsão. Esta análise vai ser realizada tendo em conta o IQA disponibilizado para o público, ou seja, tendo em conta o IQA previsto e observado para os dois poluentes que determinam o IQA disponibilizado ao público, O<sub>3</sub> e PM<sub>10</sub>, para os três dias de previsão.

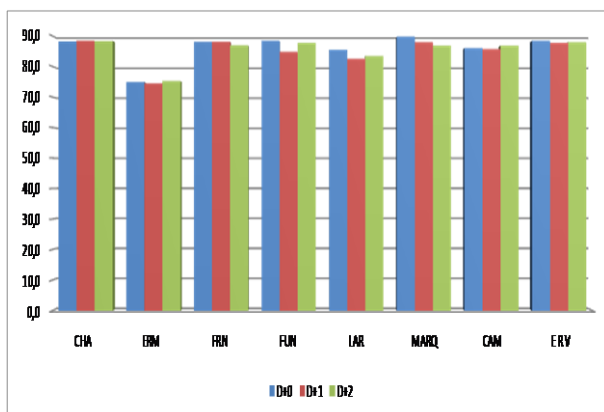
**Tabela 10** – Concordância (%) entre o IQA simulado e IQA observado, para O<sub>3</sub> (a) e PM<sub>10</sub> (b), para os 3 dias previstos, durante o ano 2008.

Concordância de índices - O <sub>3</sub>			
	D+0	D+1	D+2
CHA	88,1	88,3	88,3
ERM	74,8	74,4	75,1
FRN	88,0	88,0	86,9
FUN	88,3	84,7	87,7
LAR	85,3	82,4	83,4
MARQ	89,7	87,9	86,7
CAM	86,0	85,6	86,7
E R V	88,3	87,7	87,9
<b>Média</b>	<b>86,1</b>	<b>84,9</b>	<b>85,3</b>

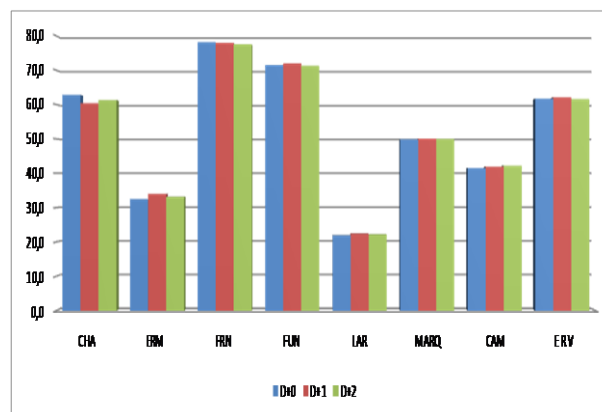
(a)

Concordância de índices - PM <sub>10</sub>			
	D+0	D+1	D+2
CHA	62,8	60,3	61,3
ERM	32,5	34,0	33,1
FRN	78,1	77,9	77,5
FUN	71,4	72,0	71,3
LAR	21,9	22,3	22,1
MARQ	49,9	50,1	50,0
CAM	41,5	41,9	42,2
E R V	61,7	62,1	61,6
<b>Média</b>	<b>52,5</b>	<b>52,6</b>	<b>52,4</b>

(b)



(a)



(b)

**Figura 60** – Gráfico com a concordância (%) entre o IQA simulado e IQA observado, para O<sub>3</sub> (a) e PM<sub>10</sub> (b), para os 3 dias previstos, durante o ano 2008.

Como se pode verificar pela análise da Tabela 10(a) e da Figura 60(a), o desempenho do sistema de previsão em prever as concentrações de O<sub>3</sub> é satisfatório, apresentando em mais de 50% das estações analisadas, uma taxa de sucesso do índice previsto igual ou superior a 70%. A estação de Ermesinde obteve uma percentagem mais baixa relativamente às restantes estações, mas apresenta igualmente uma percentagem elevada. Em relação às PM<sub>10</sub>, a concordância entre o IQA previsto e o IQA observado é inferior, existindo três estações para as quais a percentagem obtida foi inferior a 50%, nomeadamente Ermesinde, Laranjeiro e Camarinha. Como verificado anteriormente, no capítulo da validação, o desempenho do sistema relativamente às partículas, neste ano, não foi o mais favorável, justificando desta forma os valores obtidos para a concordância de índices.

## **6.4 Intercomparação de modelos**

No seguimento das etapas definidas no procedimento GQ/CQ, apresenta-se a fase de intercomparação de modelos, onde se pretende comparar o desempenho do modelo em avaliação com outro com o mesmo tipo de aplicação. Numa primeira fase, comparou-se o sistema de previsão MM5-CHIMERE, com o modelo estatístico, ambos operacionais, em termos de previsão da qualidade do ar, em Portugal. Por fim comparou-se o sistema de previsão MM5-CHIMERE e o sistema de previsão MM5-EURAD da Alemanha, que disponibilizou também previsões para o domínio de Portugal Continental.

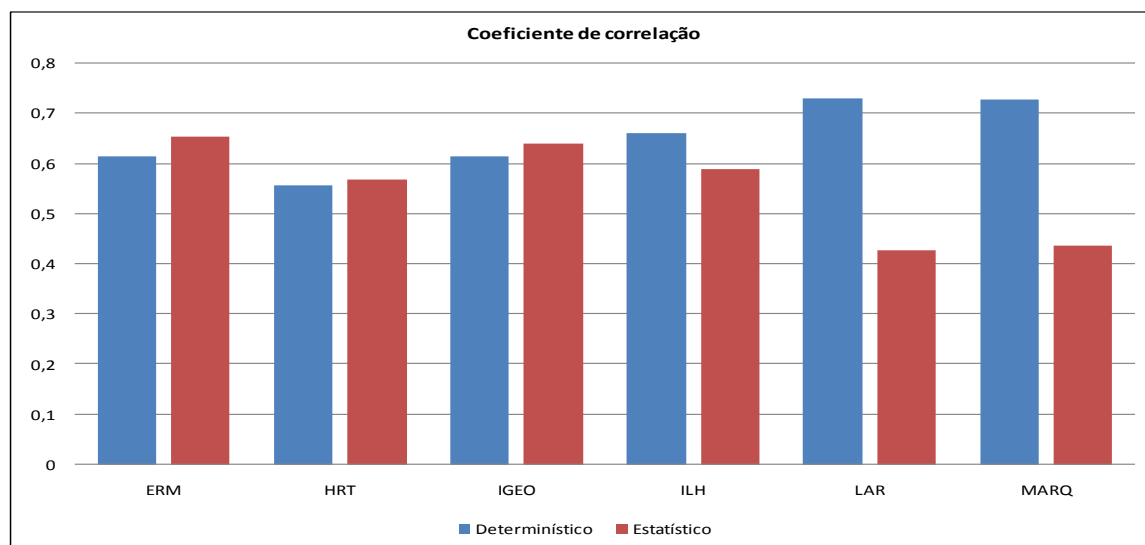
### **6.4.1 Determinístico e Estatístico**

Na intercomparação destes dois modelos realizaram-se dois tipos de análise: a análise quantitativa, através de três parâmetros estatísticos (coeficiente de correlação, erro quadrático médio e erro sistemático médio) e a análise qualitativa, onde se visualiza o comportamento de cada modelo relativamente aos dados monitorizados, disponível no Anexo I e Anexo J, para  $O_3$  e  $PM_{10}$ , respectivamente. A intercomparação dos modelos foi realizada para os dois poluentes mais críticos,  $O_3$  e  $PM_{10}$ , uma vez que o modelo estatístico apenas simula as concentrações para estes dois poluentes. Não se consegue apresentar as oito estações usadas nas restantes etapas, devido à falta de dados previstos, assim sendo, do conjunto de estações seleccionadas para posterior avaliação escolhem-se as que têm dados compatíveis para os dois modelos, nomeadamente: Ermesinde, Horto, Ílhavo, Laranjeiro, Quinta do Marquês e, também Instituto Geofísico de Coimbra, no caso do  $O_3$ .

#### **6.4.1.1 $O_3$**

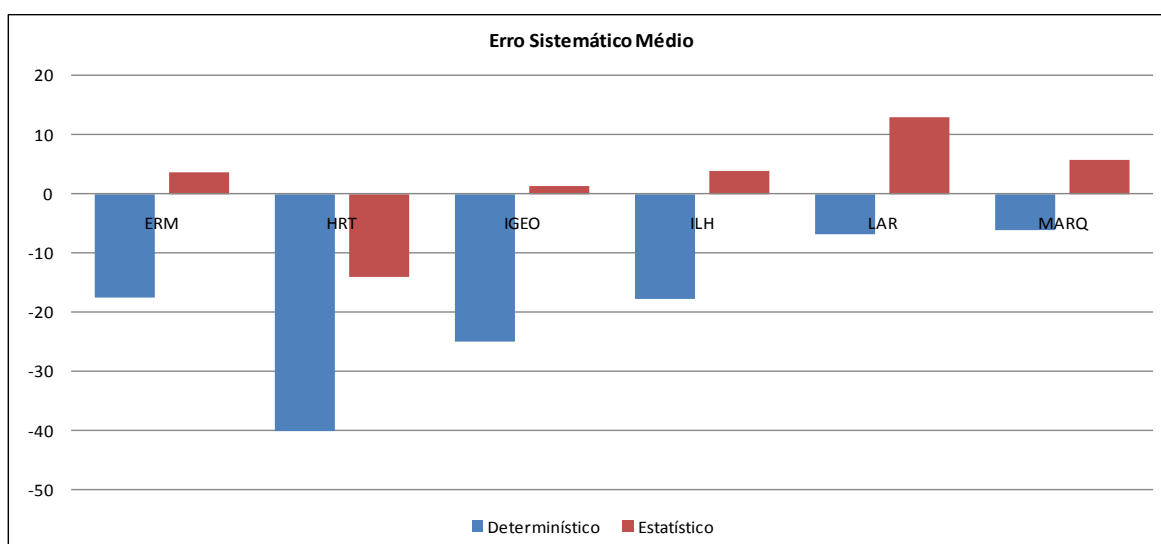
As Figuras 61 a 63 representam, para cada estação de monitorização da qualidade do ar, os parâmetros estatísticos  $r$ , BIAS e EQM, respectivamente. A tabela com os valores dos parâmetros estatísticos, por estação, para a intercomparação apresenta-se no Anexo I.

### Análise Quantitativa

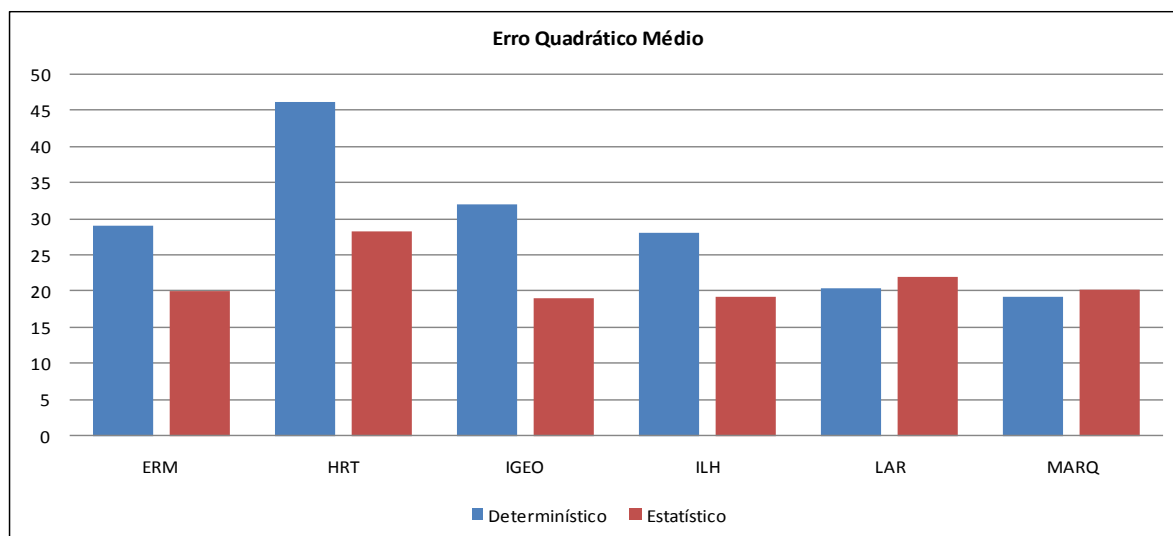


**Figura 61** – Parâmetro estatístico,  $r$ , apresentado para cada estação de monitorização para os dois modelos de previsão, determinístico e estatístico.

Pela análise da figura anterior, os coeficientes de correlação obtidos são distintos para os dois modelos, no entanto são maioritariamente superiores a 0,5. O modelo estatístico apresenta valores para este parâmetro ligeiramente inferiores em algumas estações, nomeadamente Laranjeiro e Quinta do Marquês, ambas com influência urbana.



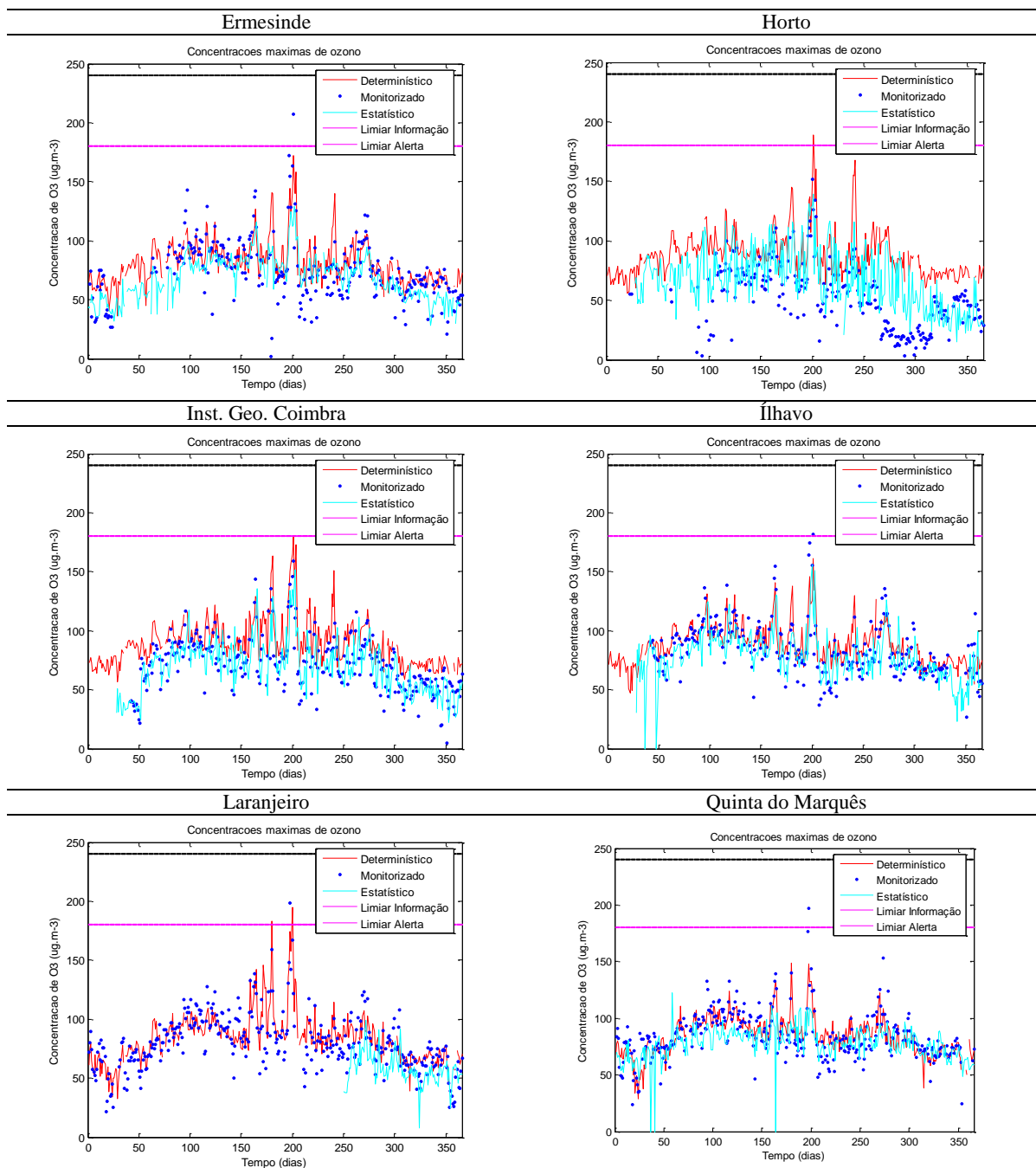
**Figura 62** – Parâmetro estatístico, BIAS, apresentado para cada estação de monitorização para os dois modelos de previsão, determinístico e estatístico.



**Figura 63** – Parâmetro estatístico, EQM, apresentado para cada estação de monitorização para os dois modelos de previsão, determinístico e estatístico.

Relativamente ao parâmetro BIAS, é evidente que o modelo determinístico tem maior tendência para sobrestimar as concentrações (bias exclusivamente negativo), comparativamente com o modelo estatístico, que apresenta um erro sistemático quase sempre positivo. O modelo estatístico subestima as concentrações de  $O_3$ , excepto na estação Horto em que tem tendência para sobrestimar as mesmas (Figura 62). Em relação ao EQM observa-se uma maior amplitude do erro no caso do modelo determinístico.

## Análise Qualitativa



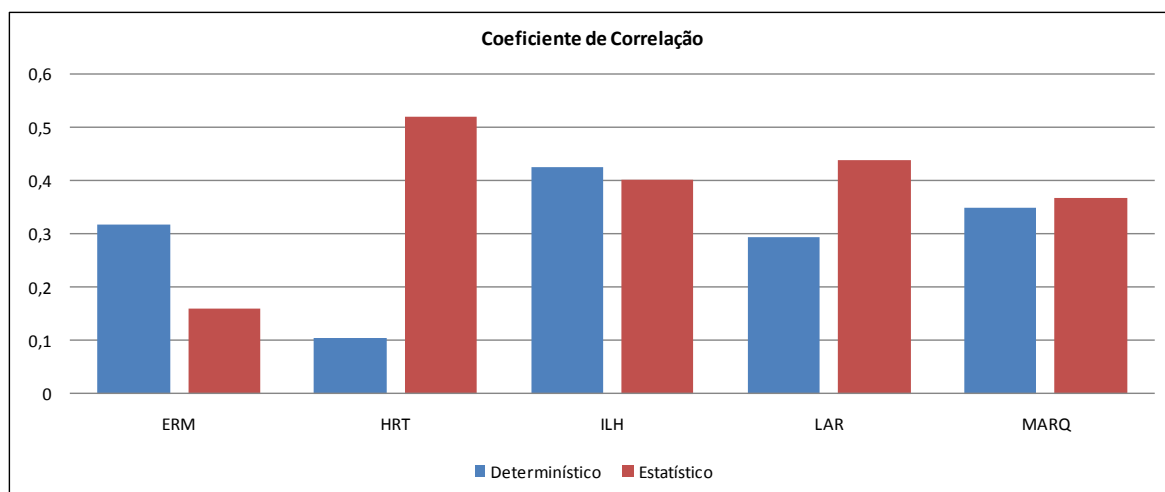
**Figura 64** – Análise qualitativa da intercomparação dos modelos estatísticos e determinístico, para o O<sub>3</sub>, através de gráficos de séries temporais.

Relativamente aos picos de concentração (episódios de poluição) verifica-se um melhor desempenho do modelo determinístico, o que deverá justificar-se por este ter em conta as variações horárias da meteorologia e o outro basear-se em correlações estatística/probabilística obtidas com dados históricos.



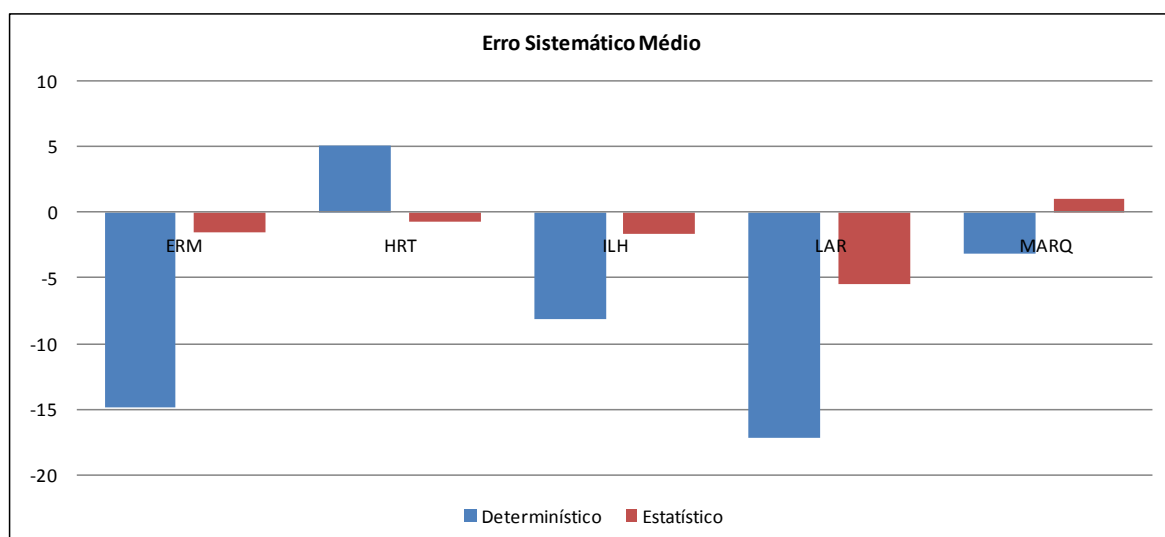
#### 6.4.1.2 PM<sub>10</sub>

As Figuras 65 a 67 representam, para cada estação de monitorização da qualidade do ar, os parâmetros estatísticos  $r$ , BIAS e EQM, respectivamente. A tabela com os valores dos parâmetros estatísticos, por estação, para a intercomparação encontra-se no Anexo J.

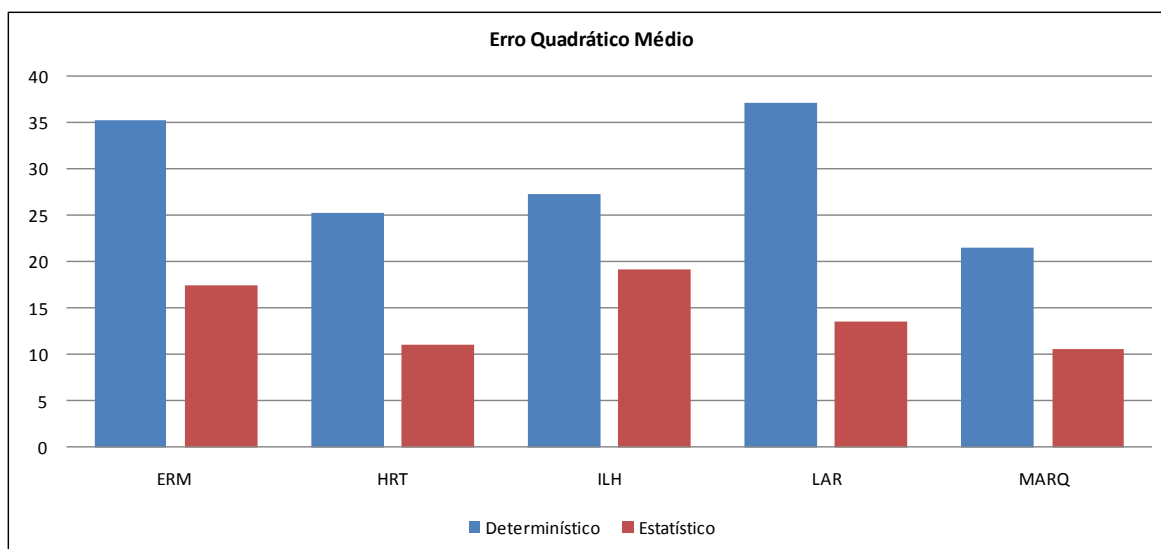


**Figura 65** – Parâmetro estatístico,  $r$ , apresentado para cada estação de monitorização para os dois modelos de previsão, determinístico e estatístico.

Para a simulação de PM<sub>10</sub>, ambos os modelos apresentam baixos coeficientes de correlação, abaixo dos 0,6. O modelo determinístico exibe, no entanto valores ainda inferiores ao modelo estatístico, ao contrário do verificado para o O<sub>3</sub>.



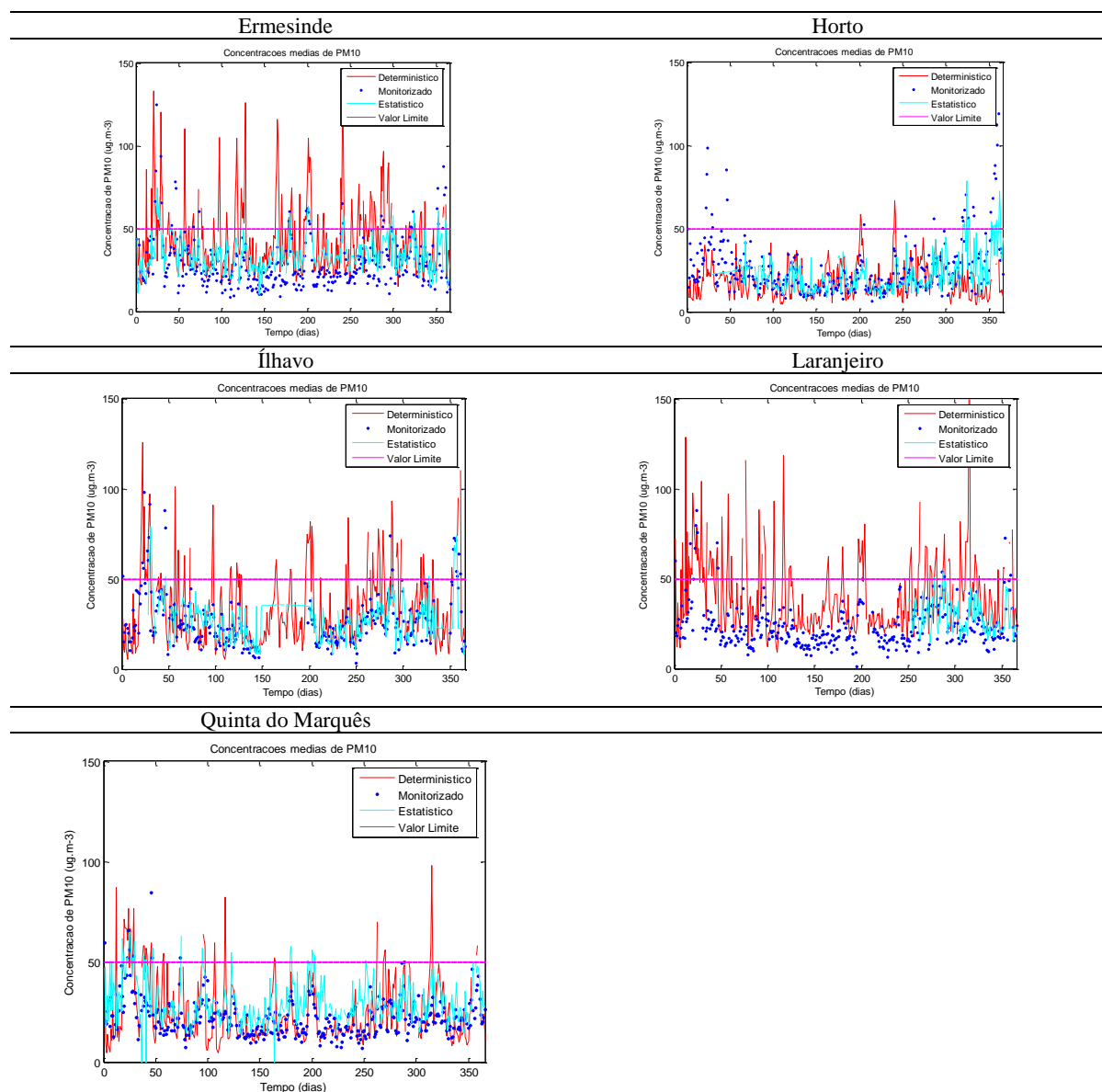
**Figura 66** – Parâmetro estatístico, BIAS, apresentado para cada estação de monitorização para os dois modelos de previsão, determinístico e estatístico.



**Figura 67** – Parâmetro estatístico, EQM, apresentado para cada estação de monitorização para os dois modelos de previsão, determinístico e estatístico.

O modelo determinístico apresenta alguma tendência para sobrestimar as concentrações (Figura 66), com uma amplitude de erro muito elevada (Figura 67). O modelo estatístico apesar de também ter tendência para sobrestimar as concentrações, não apresenta amplitudes de erro tão elevadas. Esta sobrestimativa deve-se a uma provável sobrestimativa das concentrações, já evidenciada em estudos anteriores [Monteiro *et al.*, 2007].

## Análise Qualitativa



**Figura 68** – Análise qualitativa da intercomparação dos modelos estatísticos e determinístico, para PM<sub>10</sub>, através de gráficos de séries temporais.

Pela análise da Figura 68, verifica-se que o modelo determinístico apresenta valores de concentração previstos superiores às concentrações previstas pelo modelo estatístico. Mas nem num caso, nem noutro, o cenário de previsão de PM<sub>10</sub> se apresenta muito favorável. Estes resultados inferiores do sistema de previsão relativamente às partículas podem ser justificadas pelo facto de se tratar de um poluente primário, directamente dependente das suas emissões. Isto significa que um erro nestes dados de entrada implicará imediatamente desvios nas concentrações simuladas, não conseguindo, desta forma, representar as concentrações monitorizadas.

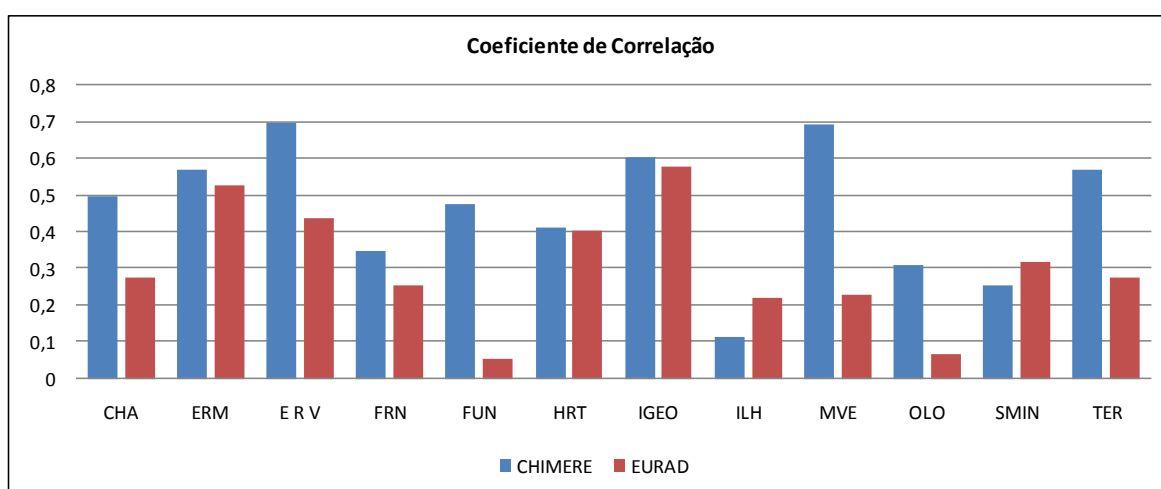
### 6.4.2 MM5-CHIMERE e MM5-EURAD

Tal como na intercomparação dos modelos estatístico e determinístico, também se recorre a dois tipos de análise: a análise quantitativa, através de três parâmetros estatísticos (coeficiente de correlação, erro quadrático médio e erro sistemático médio) e a análise qualitativa, onde se visualiza o comportamento de cada modelo relativamente aos dados monitorizados. A intercomparação dos modelos analisa o desempenho relativamente aos dois poluentes críticos,  $O_3$  e  $PM_{10}$ , para o período de 26 de Novembro até 31 de Dezembro, de 2008, dada a inexistência de dados de previsão do modelo EURAD para o período anterior.

#### 6.4.2.1 $O_3$

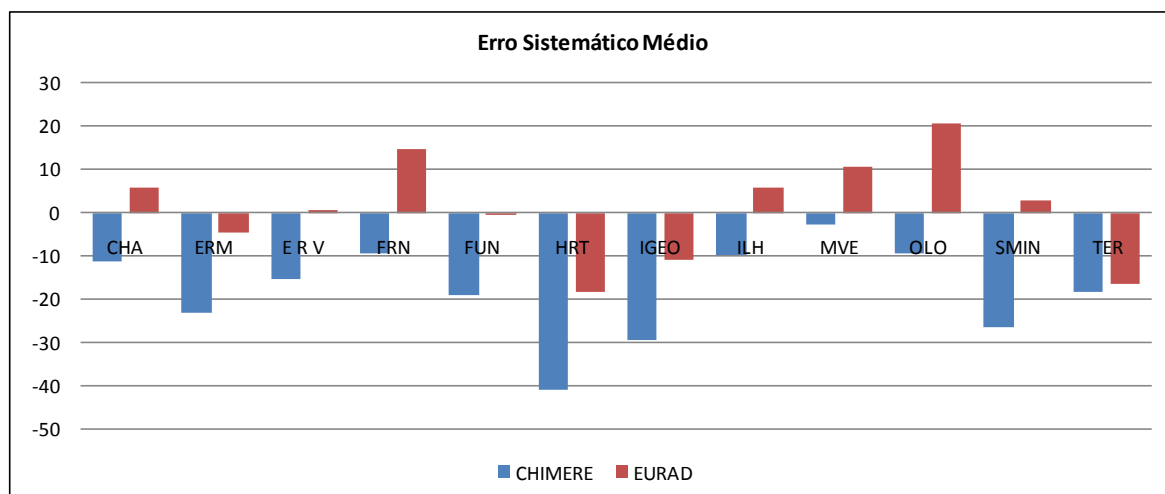
##### Análise Quantitativa

As Figuras 69 a 71 representam, para cada estação de monitorização da qualidade do ar, os parâmetros estatísticos  $r$ , BIAS e EQM, respectivamente.

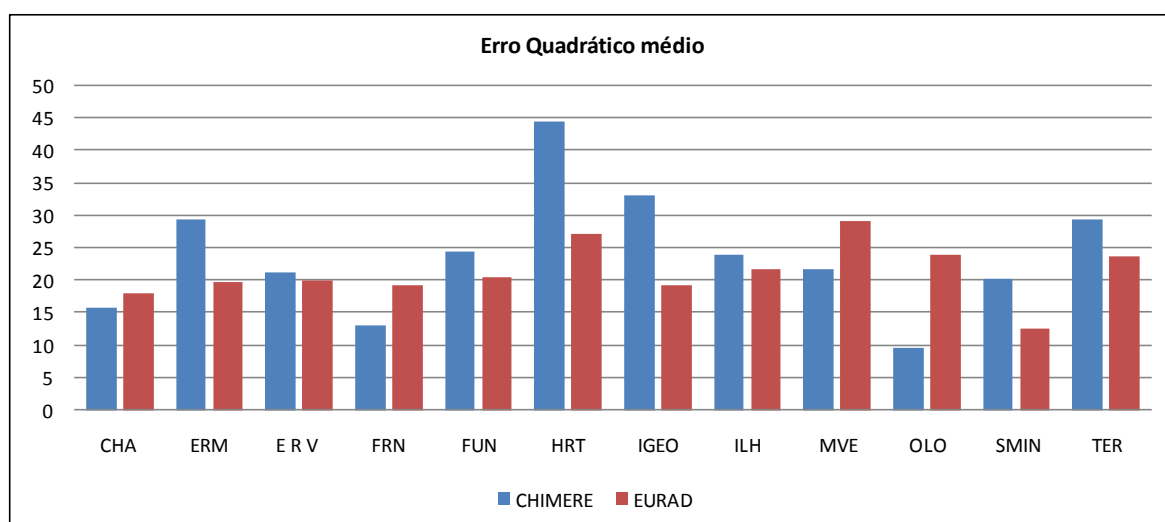


**Figura 69** – Parâmetro estatístico,  $r$ , apresentado para cada estação de monitorização para os dois modelos de previsão, determinístico e estatístico.

Pela análise da figura anterior é possível verificar que existe alguma variabilidade nos coeficientes de correlação obtidos entre os próprios modelos. As estações Instituto Geofísico de Coimbra e Horto apresentam alguma proximidade dos valores obtidos entre os modelos para este parâmetro. O modelo EURAD apresenta, em algumas estações coeficientes abaixo de 0,2, como é o caso da estação do Fundão e Lamas de Olo. A estação de Ílhavo, atingiu coeficientes de correlação baixos (abaixo de 0,3) em ambos os modelos.



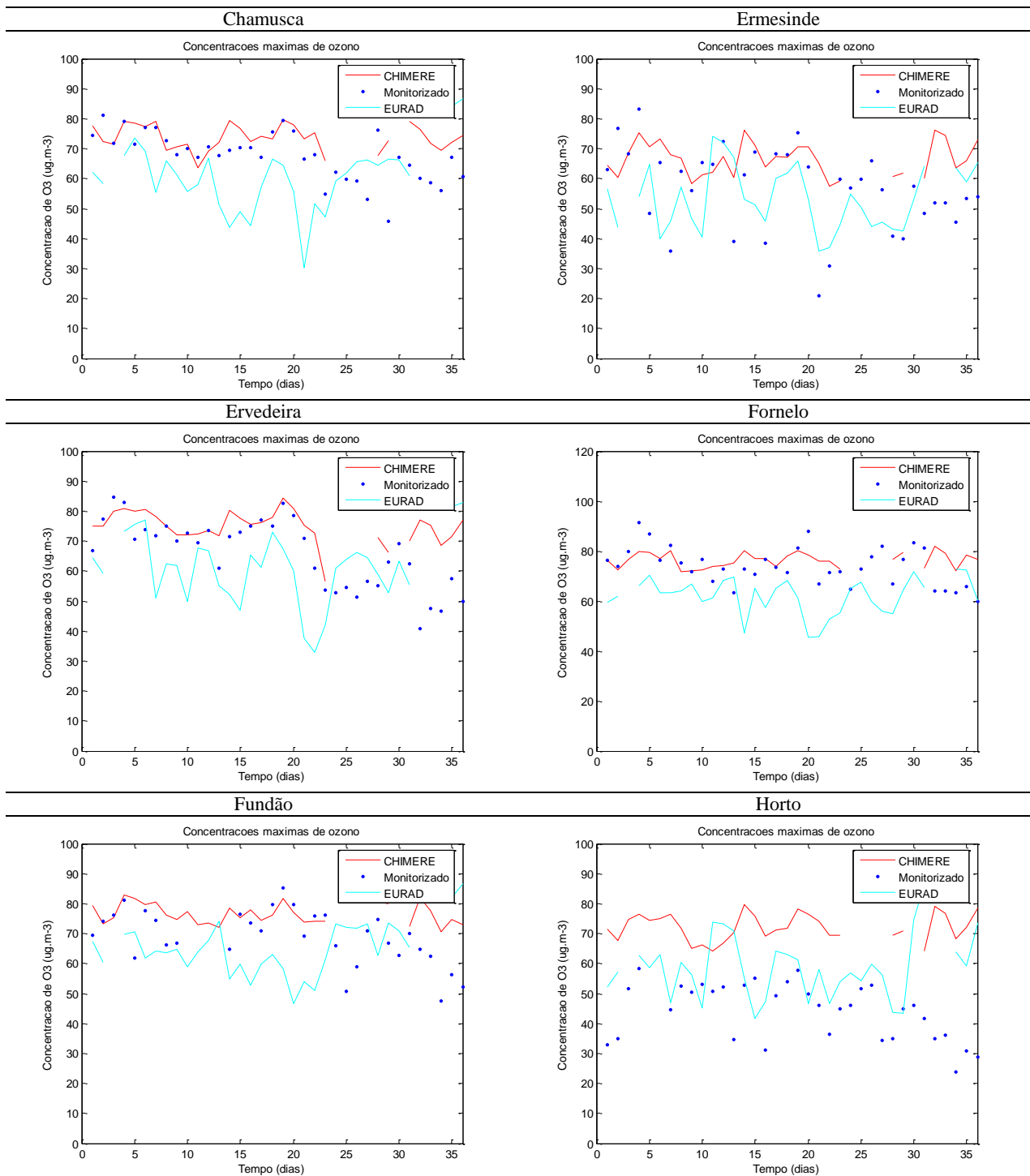
**Figura 70** – Parâmetro estatístico, BIAS, apresentado para cada estação de monitorização para os dois modelos de previsão, determinístico e estatístico.

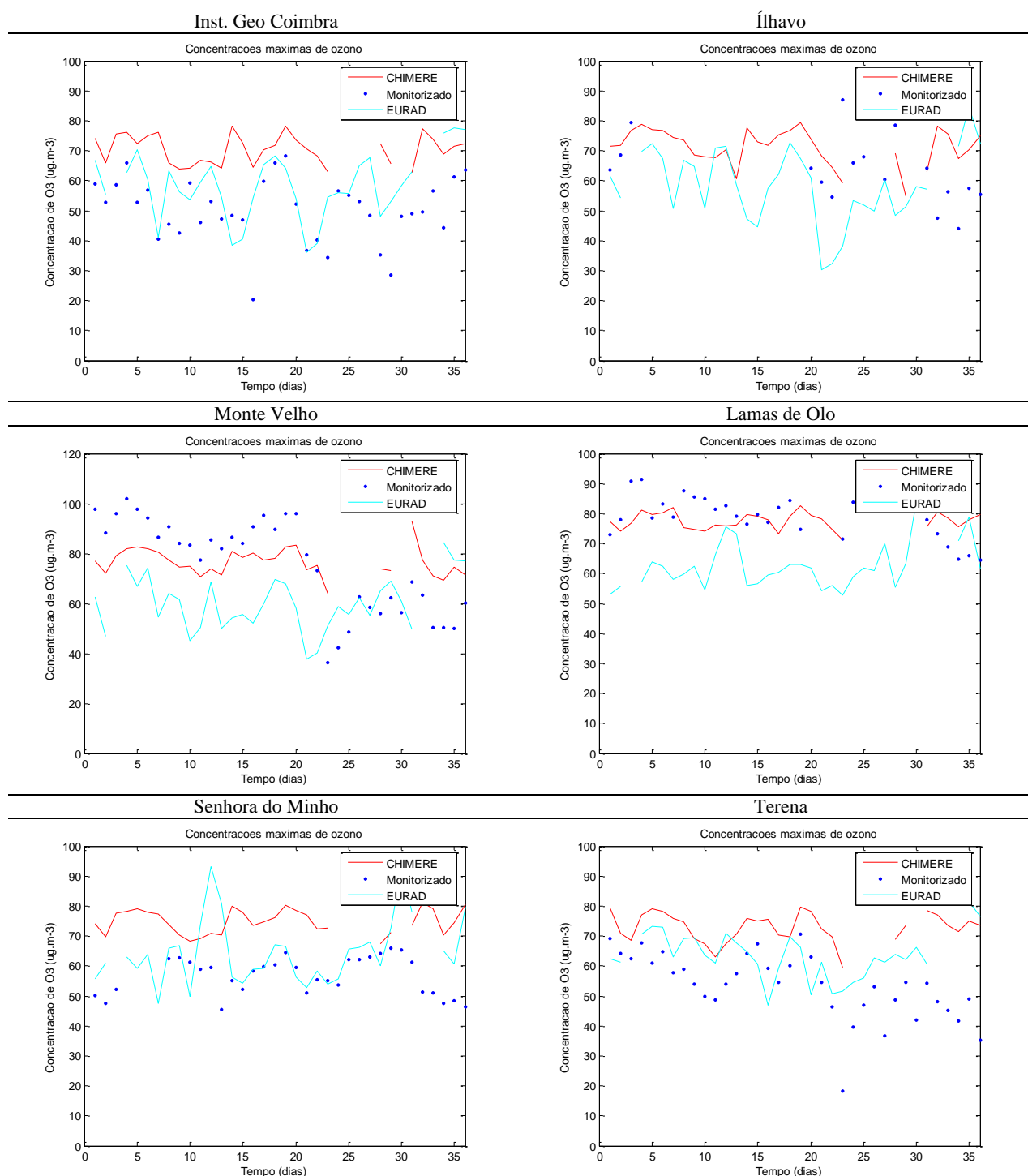


**Figura 71** – Parâmetro estatístico, EQM, apresentado para cada estação de monitorização para os dois modelos de previsão, determinístico e estatístico.

Relativamente à tendência para prever a concentração de  $O_3$  (Figura 70), ambos os modelos tendem a sobrestimar as mesmas, com exceção do modelo EURAD, que para Chamusca, Ervedeira, Fornelo do Monte, Ílhavo, Monte Velho, Lamas de Olo e Senhora do Minho, apresentou concentrações previstas inferiores às concentrações monitorizadas. De uma forma geral, o modelo CHIMERE, apresenta amplitudes de erro (Figura 71) superiores ao EURAD, havendo, em alguns casos, um desfazamento grande entre ambos (Horto e Instituto Geofísico de Coimbra).

## Análise Qualitativa





**Figura 72** – Análise qualitativa da intercomparação dos sistemas de previsão MM5-CHIMERE e MM5-EURAD, para  $\text{O}_3$ , através de gráficos de séries temporais.

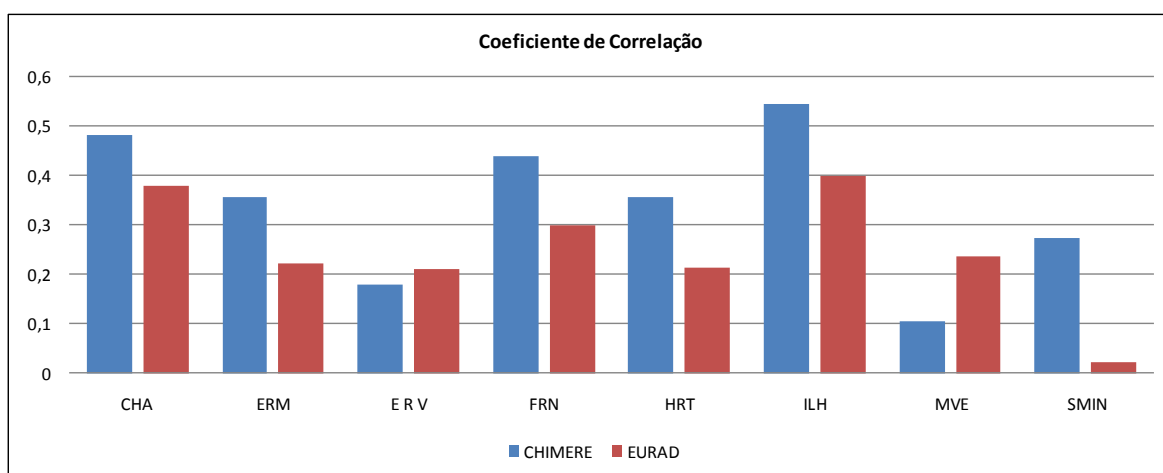
Pela análise da Figura 72, verifica-se que o CHIMERE apresenta concentrações previstas mais elevadas que o EURAD. A diferença entre os dois sistemas consiste tanto ao nível do modelo químico, como das emissões. Assim sendo, estas diferenças encontradas no desempenho dos dois

modelos podem dever-se ao inventário de emissões, mas também à própria concepção do modelo químico.

#### 6.4.2.2 PM<sub>10</sub>

##### Análise Quantitativa

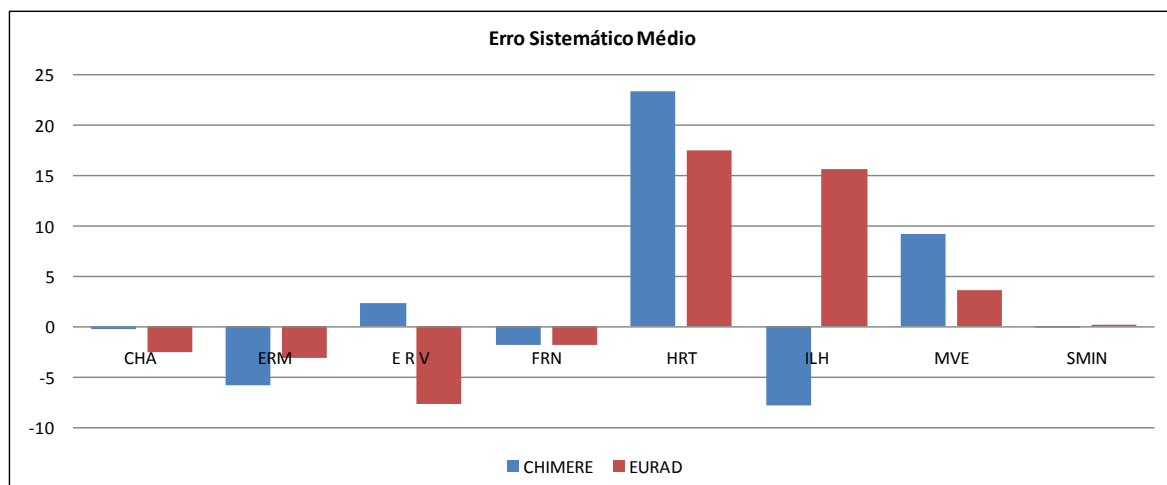
As Figuras 73 a 75 representam, para cada estação de monitorização da qualidade do ar, os parâmetros estatísticos r, BIAS e EQM, respectivamente.



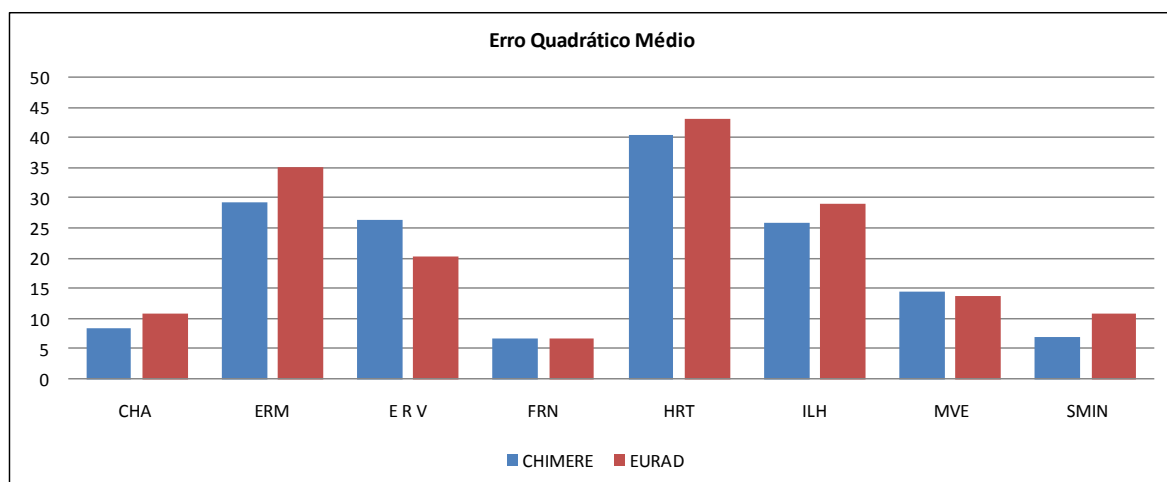
**Figura 73** – Parâmetro estatístico, r, apresentado para cada estação de monitorização para os dois modelos de previsão, CHIMERE e EURAD.

Na Figura 72 verifica-se que o coeficiente de correlação se apresenta bastante irregular entre ambos os modelos. Os valores obtidos encontram-se todos abaixo dos 0,5, com excepção da estação de Ílhavo, no caso do sistema de previsão MM5-CHIMERE. Na estação Senhora do Minho, o sistema de previsão MM5-EURAD apresentou um coeficiente de correlação muito baixo, inferior a 0,1.





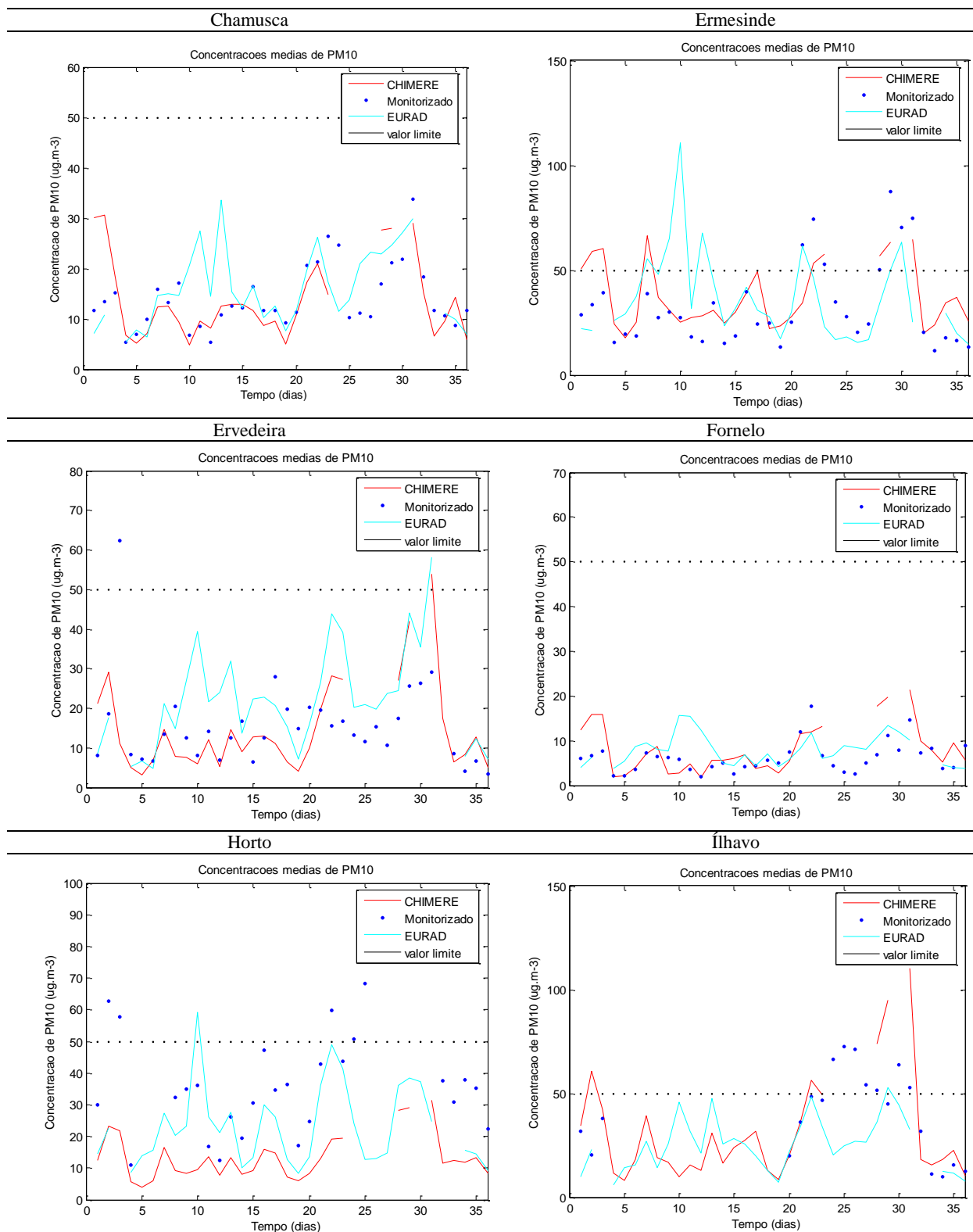
**Figura 74** – Parâmetro estatístico, BIAS, apresentado para cada estação de monitorização para os dois modelos de previsão, CHIMERE e EURAD.

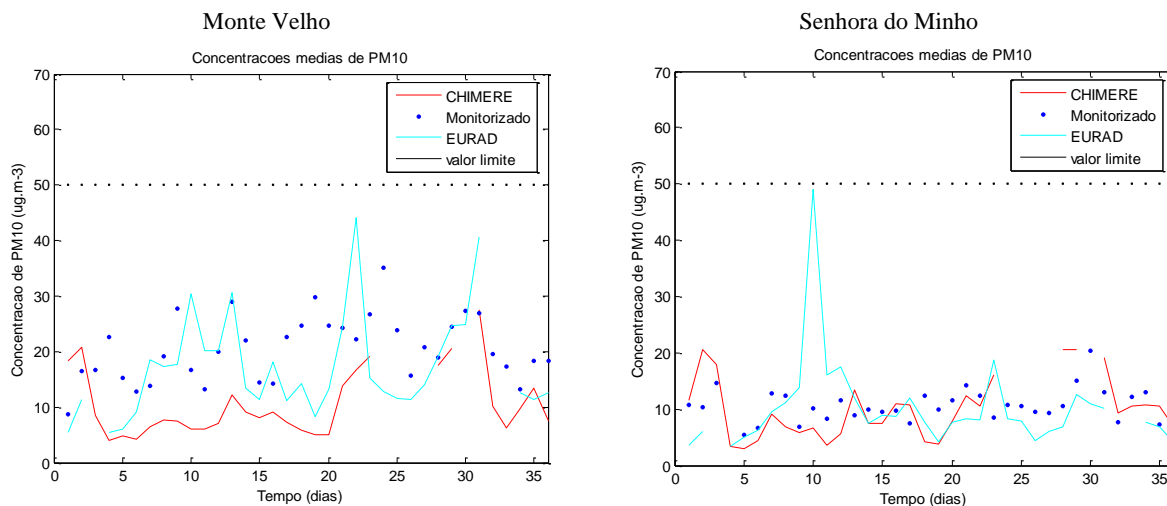


**Figura 75** – Parâmetro estatístico, EQM, apresentado para cada estação de monitorização para os dois modelos de previsão, CHIMERE e EURAD.

Pela análise das duas figuras anteriores verifica-se maioritariamente tendência para sobrestimar as concentrações de partículas. É de salientar, no entanto, os baixos valores de BIAS registados em ambos os modelos. A estação de Ervedeira o modelo CHIMERE subestimou as concentrações de partículas, enquanto o EURAD sobrestimou. A amplitude de erros também é bastante irregular, no entanto o modelo EURAD apresenta valores mais elevados.

## Análise Qualitativa





**Figura 76** - Análise qualitativa da intercomparação dos sistemas de previsão MM5-CHIMERE e MM5-EURAD, para  $PM_{10}$ , através de gráficos de séries temporais.

Pela análise da Figura 79 verifica-se que contrariamente ao que acontecia com o  $O_3$ , é o EURAD que apresenta concentrações mais elevadas, com excepção da estação de Ílhavo, na qual o CHIMERE apresentou picos mais elevados.

É de salientar que os resultados obtidos para a intercomparação destes dois modelos, tanto para o caso do ozono como para as partículas poderá estar a ser influenciado pelo período restrito analisado. No caso do  $O_3$ , este período não tem grande influência, uma vez que é um poluente com origem fotoquímica, ou seja, no período estival é que as suas concentrações são mais críticas. Prevê-se que a partir de 2009, o sistema de modelos MM5-EURAD já tenha dados disponíveis que permitam alargar este período de intercomparação de modo a obter-se uma maior fiabilidade dos resultados.

## 7. Considerações finais

O objectivo principal do estudo apresentado consistiu em elaborar um procedimento de GQ/CQ para a previsão da qualidade do ar e a sua aplicação ao caso do sistema de previsão para Portugal. As etapas definidas neste procedimento englobam o processo de verificação, validação, testes de sensibilidade, análise de incertezas e por fim, a intercomparação de modelos. A necessidade de realizar todas as fases definidas é de extrema importância, uma vez que nenhuma substitui outra e todas são indispensáveis para uma correcta análise das incertezas associadas a modelos de previsão da qualidade do ar, permitindo desta forma promover a melhoria contínua do desempenho deste tipo de aplicações. A aplicação ao caso do sistema de previsão MM5-CHIMERE permitiu mostrar a sua utilidade e eficácia. As estações de fundo seleccionadas para a validação do sistema de previsão após uma análise do perfil diário, localização e eficiência foram: Norte Litoral – Senhora do Minho; Norte Interior – Lamas de Olo; Braga – Horto; Vale do Ave – Santo Tirso; Vale do Sousa – Centro Lacticínios; Aveiro/Ílhavo – Ílhavo; Coimbra – Inst. Geofísico de Coimbra; Península de Setúbal/Álcacer do Sal – Fernando Pó; Alentejo Litoral – Monte Velho; Alentejo Interior – Terena; Albufeira/Loulé – Malpique; Porto Litoral – Ermesinde; Centro Interior – Fundão, Fornelo; Centro Litoral – Ervedeira; Vale do Tejo e Oeste – Chamusca; AML Norte – Quinta do Marquês; AML Sul – Laranjeiro; Setúbal – Camarinha. Esta selecção permite simplificar a aplicação do procedimento de garantia e controlo da qualidade, uma vez que com este número de estações, representativas de cada zona, se consegue obter o comportamento típico do sistema de previsão em relação aos três poluentes em estudo.

O primeiro passo, a verificação do sistema de previsão, possibilitou a identificação das falhas e das potencialidades do mesmo, através da aplicação de uma análise SWOT, que permite uma percepção/interpretação mais clara dos resultados que se obtêm nas etapas seguintes. O facto do perfil temporal aplicado às emissões ser um perfil médio europeu tem implicações a nível das concentrações obtidas na previsão, principalmente nas concentrações de  $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$ . Como são ambos poluentes primários estão directamente dependentes das suas emissões. No caso das  $PM_{2.5}$  ainda é mais crítico, uma vez que o módulo numérico de aerossóis existente no sistema de previsão também promove a formação destas partículas, influenciando directamente as concentrações previstas. Por outro lado, o sistema de previsão possui um modelo de emissões biogénicas incorporado e os processos de mistura e transporte necessários para uma maior representatividade da realidade. Estas considerações são fundamentadas pela aplicação da segunda etapa do procedimento, a validação. Desta fase pode concluir-se que o desempenho do sistema de previsão é satisfatório para o  $O_3$ , mas não para as partículas, principalmente para as  $PM_{2.5}$ . Estes maus resultados podem ser justificados pelas aproximações utilizadas no sistema de previsão, referenciadas anteriormente (na análise SWOT). Outro factor a ter em conta é que, de algum modo,

pode influenciar a discrepância de resultados para as partículas está relacionada com a crise económica. No ano 2008, segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), houve uma redução no mercado de trabalho e muitas empresas tiveram que encerrar, nomeadamente as de construção civil, que são grandes emissoras de partículas. Este é um ponto a ser tido em conta, quando se realizar a melhoria do inventário de emissões.

Na validação verificou-se que os dois tipos de análise, qualitativa e quantitativa, são ambas importantes e complementam-se, fornecendo informações sobre o desempenho do sistema de previsão. Os dez parâmetros estatísticos seleccionados para este tipo de análise ( $r$ , EQM, BIAS, FB, NSD, NMSE, ANB, MG, VG e  $d$ ), têm um papel fundamental na avaliação do desempenho do modelo e na estimativa de incertezas, no entanto alguns deles podem ser considerados mais importantes, como é o caso do  $r$ , BIAS, EQM, FB e NMSE, fornecendo a informação necessária para possibilitar a interpretação dos resultados.

Os testes de sensibilidade não foram realizados neste trabalho, mas desde já se apontam algumas melhorias a efectuar num futuro próximo, como a avaliação do aumento da resolução da malha de resolução e da melhoria do inventário de emissões, tendo em conta os factores anteriormente mencionados. E a nível do módulo numérico dos aerossóis, o refinamento da discretização dos aerossóis por tamanhos, para não promover a formação tão elevada de  $PM_{2.5}$ .

A análise de incertezas, foi avaliada através da aplicação de três parâmetros: concordância de índices, falso alarme e probabilidade de detecção para os IQA fraco e mau, para o  $O_3$  e  $PM_{10}$ . Através destes parâmetros é possível verificar que, no ano 2008, houve uma maior percentagem de falsos alarmes no caso das  $PM_{10}$ , já que o sistema de previsão sobrestimou as concentrações deste poluente. Em relação à probabilidade de detecção, as menores percentagens foram obtidas para o  $O_3$ , aproximadamente 18%. As percentagens obtidas para a probabilidade de detecção para as  $PM_{10}$  (20%) podem estar relacionadas com a maior ocorrência de IQA fraco e mau, tanto previstos como observados. Relativamente à percentagem da concordância entre o IQA previsto e observado, para o  $O_3$  obteve-se percentagens superiores a 70%, enquanto para as  $PM_{10}$  a percentagem em média foi de 50%, o que demonstra o bom desempenho do sistema de previsão em prever as concentrações de  $O_3$ , principalmente as concentrações superiores a  $180 \mu g.m^{-3}$ .

A intercomparação de modelos corresponde a uma etapa bastante importante no procedimento de GQ/CQ, uma vez que permite promover o desenvolvimento e a melhoria do sistema de previsão da qualidade do ar. No entanto, para tal etapa, é essencial o conhecimento detalhado de cada um dos modelos em questão, de modo a se retirarem as conclusões mais correctas. Na intercomparação do sistema de previsão determinístico com o sistema de previsão estatístico, tanto para o  $O_3$  como para as  $PM_{10}$  verifica-se que o modelo determinístico apresenta valores de concentração previstas superiores às concentrações previstas pelo modelo estatístico,

apesar de o cenário de previsão das  $PM_{10}$  não se apresentar favorável em nenhum dos modelos. Relativamente ao  $O_3$ , o modelo determinístico apresenta previsões mais próximas das concentrações monitorizadas. Relativamente à intercomparação do sistema de previsão CHIMERE, com o sistema de previsão EURAD, o período de comparação foi curto (26 de Novembro a 31 de Dezembro), e no caso do  $O_3$ , este período é pouco crítico, já que se trata de um poluente fotoquímico. Na intercomparação destes dois modelos verifica-se algum desfazamento em termos de concentrações previstas entre ambos. Tendencialmente, para as  $PM_{10}$ , o sistema de previsão EURAD apresenta concentrações previstas mais elevadas que as concentrações previstas pelo modelo CHIMERE, enquanto para o  $O_3$  acontece precisamente o contrário. Será interessante prolongar este exercício de intercomparação num futuro próximo, de modo a obter-se resultados mais sustentados.

Este exercício de avaliação do sistema de previsão para Portugal permitiu concretizar a aplicação do conjunto de procedimentos definidos, tal como previsto nos objectivos inicialmente propostos.

Tendo em conta que o sistema de previsão, tal como qualquer sistema de modelação, encontra-se em constante aperfeiçoamento e melhoria, este exercício de avaliação deverá repetir-se periodicamente de modo a garantir e controlar que os novos desenvolvimentos trazem qualidade à previsão realizada. É de salientar ainda que este procedimento de GQ/CQ foi elaborado de forma a ser suficientemente geral e ser aplicado a qualquer sistema de modelação/previsão da qualidade do ar.

## 8. Referências bibliográficas

- Barnum, B.H., Winstead, N. S., Wesely, J., Hakola, A., Colarco, P. R., Toon, O. B., Ginoux, P., Brooks, G., Hasselbarth, L., Toth, B. (2004). Forecasting dust storms using the CARMA-dust model and MM5 weather data. *Environmental Modelling & Software* 19 (2004) 129-140.
- Borrego, C., Tchepel, O. (1998). Quality Assurance/ Quality Control in SATURN. A first approach. Hamburg Workshop.
- Borrego, C., Miranda, A.I., Coutinho, M., Ferreira, J., Carvalho, A.C. (2002a). Air quality management in Portugal: example of needs and available tools. *Environmental Pollution*, 120, 115-123.
- Borrego, C., Schatzmann, M., Galmarini, S. (2003a). Quality Assurance of Air Pollution Models. In: Moussiopoulos N. Ed. *Air Quality in Cities – SATURN Final Report*, Springer, 155-183.
- Borrego, C., Miranda, A.I., Monteiro, A., Martins, H., Ferreira, J., Salmin, L., Sousa, S., Coutinho, M., Pereira, M. (2006). *Elaboração de Planos e Programas de Acção para a melhoria da qualidade do ar na região Norte. Relatório Síntese 2001-2003, Universidade de Aveiro AMB-QA-11/2006. Estudo realizado no âmbito de protocolo de colaboração com a CCDR-Norte.*
- Borrego, C., Monteiro, A., Ferreira, J., Miranda, A.I., Costa, A.M., Carvalho, A.C., Lopes, M. (2008). Procedures for estimation of modelling uncertainty in air quality assessment. *Environment International* 34 (2008) 613-620.
- Brandt, J., Christensen, J. H., Frohn, L. M., Palmgren, F., Berkowicz, R., Zlatev, Z. (2001). Operational air pollution forecasts from European to local scale. *Atmospheric Environment* 35 Supplement No. 1, S91-S98.
- Builtjes, P. J. H. (1992). The LOTOS-long term ozone simulation-project. TNO-MEP, Report number TNOMW-R92/240, Apeldoorn, The Netherlands.
- Byun, D. W., Chind J. K. S. (1999). Science algorithms of the EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) modeling system, Rep. EPA-600/R-99/030, Off. Of Res. And Dev., U.S. Environ. Prot. Agency, Washington, D.C.
- Civerolo, K., Hogrefe, C., Lynn, B., Rosenthal, J., Ku, J., Solecki, W., Cox, J., Small, C., Rosenzweig, C., Goldberg, R., Knowlton, K., Kinney, P. (2007). Estimating the effects of increased urbanization on surface meteorology and ozone concentrations in the New York City metropolitan region. *Atmospheric Environment*, 41 (9), 1803-1818.

Chevener, J., Jensen, C. (2001). Operational ozone forecast for the region of Copenhagen by the Danish Meteorological Institute. *Atmospheric Environment* 35 (2001) 4567-4580.

Cogliani, E. (2001). Air pollution forecast in cities by air pollution index highly correlated with meteorological variables. *Atmospheric Environment* 35 (2001) 4567-4580.

Dabberdt, W.F., Martinez, J.R., Javitz, H.S., Ruff, R.E., Valdes, A., Nitz, K.C. (1981). Methodology for evaluating highway air pollution dispersion models. National Cooperative Highway Research Program Report 245. SRI International Menlo Park, California.

Delle Monache, L., Stull, R. (2003). An ensemble air-quality forecast over western Europe during an ozone episode. *Atmospheric Environment* 37 (2003) 3469-3474.

Dudhia, J. (1993). A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. *Monthly Weather Review* 121, pp. 1493-1513.

Dudhia, J., Gill, D., Kevin, M., Bruyere, C., Kellu, S., Lackey, K. (2005). PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modeling System Version 3. Disponível em: <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/documents/>.

Flemming, J., Miranda, P. (2007). Testing model accuracy measures according to the EU directives – examples using the chemical transport model REM-CALGRID. *Atmospheric Environment* (in press).

Gardner, M., Dorling, S. (2000). Statistical surface ozone models: an improved methodology to account for non-linear behavior. *Atmospheric Environment* 34 (2000) 21-34.

Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J.M., Holben, B., Dubovik, O., Lin, S.J. (2001). Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model. *Journal of Geophysical Research*, 106, 20255-20273.

Grell, G.A., Emeis, S., Stockwell, W.R., Schoenemeyer, T., Forkel, R. Michalekes, J., Knoche, R., Seidl, W. (2000). Application of a multiscale, coupled MM5/chemistry model to the complex terrain of the VOTALP valley campaign. *Atmospheric Environment*, 34, 1435-1453.

Hanna, S.R., Chang, J.C. (1993). Hazardous gas model evaluation with field observations. *Atmospheric Environment*, 27A, 2265-2285.

Hess, G., Cope, M., Lee, S., Manins, P., Mills, G., Puri, K., Tory, K. (2001). The development of the Australian air quality forecasting system: current status. In: Ed. Gryning and Schiermeier: Proceedings of the



24<sup>th</sup> International Technical Meeting on Air Pollution Modeling and Its Applications, 15-19 May, Boulder, Colorado, 2000, Kluwer Academic, New York, 371-378.

Hodzic, A., Vautard, R., Bessagnet, B., Lattuati, M., Moreto, F. (2005). Long-term urban aerosol simulation versus routine particulate matter. *Atmospheric Environment*, 39, 5851-5864.

IPSL, LMD, INERIS, LISA (2007). Documentation of the chemistry-transport model – CHIMERE – Version V200709A. Disponível em: <http://euler.Imd.polytechnique.fr/chimere/>.

Jakobs, H.J., Friese, E., Memmesheimer, M., Ebel, A. (2002). A Real-time Forecast System for Air Pollution Concentrations. A contribution to subproject GLOREAM. In: Eds. P.M. Midgley, M. Reuther: Proceedings from the EUROTRAC-2 Symposium 2002, Margraf Verlag, Weikersheim.

Jiménez, P., Jorba, O., Parra, R., Baldasano, J.M. (2006). Evaluation of MM5-EMICAT2000-CMAQ performance and sensitivity in complex terrain: High-resolution application to the northeastern Iberian Peninsula. *Atmospheric Environment*, 40 (26), 5056-5072.

Jiménez-Guerrero, P., Pérez, C., Jorba, O., Baldasano, J.M. (2008). Contribution of Saharan dust in an integrated air quality system and its on-line assessment. *Geophysical Research Letters*, vol. 35, L03814, doi:10.1029/2007GL031580, 2008.

Kolehmainen, M., Martikainen, H., Ruuskanen, J. (2001). Neural networks and periodic components used in air quality forecasting. *Atmospheric Environment* 35 (2001) 815-825.

Larssen, S., Sluyter, R., Helmis, C. (1999). Criteria for EUROAERNET – The EEA air quality monitoring and information network. EEA – Environmental European Agency. Copenhagen. Disponível em: <http://reports.eea.europa.eu/TEC12/en/tech12.pdf>.

Leslie, L.M., Purser, R.J. (1997). A new semi-Lagrangian semi-implicit NWP model for operations and research: Formulation and performance in single and multi-processor computing environments. *Atmosphere-Ocean*, Special Andre Robert memorial Issue, Canadian Meteorological and Oceanographic Society/NRC Research Press (Lin CA, Laprose R., Ritchie, H. eds.) pp 75-101.

Mallet, V., Sportisse, B. (2008). Air quality modeling: From deterministic to stochastic approaches. *Computers & Mathematics with application* 55 (2008) 2329-2337.

Morrison, R.P., Leslie, L.M., Speer, M.S. (2002). Atmospheric modeling of air pollution as a tool for environmental prediction and management. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 80, 141-151.

- Monteiro, A., Vautard, R., Borrego, C., Miranda, A.I. (2005). Long-term simulations of photo oxidation pollution over Portugal using the CHIMERE model. *Atmospheric Environment* 39 (2005) 3089-3101.
- Monteiro, A. (2007). Desenvolvimento de um sistema de avaliação e previsão da qualidade do ar para Portugal. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro.
- Monteiro, A., Miranda, A.I., Borrego, C., Vautard, R., Ferreira, J., Perez, A. T. (2007). Long-term assessment of particulate matter using CHIMERE model. *Atmospheric Environment* 41 (2007) , 7726-7738.
- Neto, J., Torres, P., Ferreira, F., Boavida, F. (2005). Lisbon air quality forecast using statistical methods. *Proceedings of the Third International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales*, pp. 591-597, 26-30 September. Istanbul, Turkey.
- Pasken, R., Pietrowicz, J.A. (2005). Using dispersion and mesoscale meteorological models to forecast pollen concentrations. *Atmospheric Environment* 39 (2005) 7689-7701.
- Pirovano, G., Coll, I., Bedogni, M., Alessandrini, S., Costa, M.P., Gabusi, V., Lasry, F., Menut, L., Vautard, R. (2007). On the influence of meteorological input on photochemical modelling of a severe episode over a coastal area. *Atmospheric Environment* 41 (2007) 6445-6464.
- Reid, N., Misra, P. K., Amman, M., Hales, J. (2007). Air quality modeling for policy development. *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part A*, 70 (3-4), 295-310.
- Ribeiro, I. (2008). Análise da Previsão da Qualidade do Ar em Portugal Continental durante 2007 – 2008. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro.
- Robeson, S.M., Steyn, D.G. (1989). A conditional probability density function for forecasting ozone air quality data. *Atmospheric Environment* 23 (1989) 689-692.
- Robeson, S.M., Steyn, D.G. (1990). Evaluation and comparison of statistical forecast models for daily maximum ozone concentrations. *Atmospheric Environment* 24B (1990) 303-312.
- Saltelli, A. Chan, K., Scott EM. Sensitivity analysis. Wiley; 2000.
- Seinfeld, J. H., Pandis, S.N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics: From air pollution to climate change*. John Wiley & Sons, New York. ISBN:9780471178163.

Schwartz, A., Vatti, M., Reddy, S.R. (2003). Mesoscale modeling investigation using PENN STATE/NCAR MM5 model and remote sensing technology for weather simulation and prediction. 0-7803-7929-2/03/\$17.00 (C) 2003 IEEE. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org>

Simpson, D. (1992). Long period modeling of photochemical oxidants in Europe, Calculations for July 1985. *Atmospheric Environment* 26 (1992) 1609-1634.

Simpson, D., Winiwarter, W., Börjesson, G., Cinderby, S., Ferreira, A., Guenther, A., Hewitt, C., Janson, R., Khalil, M., Owen, S., Pierce, T., Puxbaum, H., Sherer, M., Skiba, U., Steinbrecher, R., Tarrasón, L., Öuquist, M. (1999). Inventorying emissions from nature in Europe. *Journal of Geophysical Research*, 104 (D7), 8113-8152.

Sofiev, M., Siljamo, P., Valkama, I., Ilvonen, M., Kukkonen, J. (2006). A dispersion modelling system SILAM and its evaluation against ETEX data. *Atmospheric Environment* 40 (2006) 674–685.

Stauffer, D.R., Seaman, N.L. (1994). Multiscale four-dimensional data assimilation. *Journal of Applied Meteorology* 33, pp. 416-434.

Stohl, A., Williams, E., Wotawa, G., Kromp-Kolb, H. (1996). A European inventory for soil nitric oxide emissions and the effect of these emissions on the photochemical formation of ozone. *Atmospheric Environment*, 30, 374-3755.

Tesche, T.W., Morris, R., Tonnesen, G., McNally, D., Boylan, J., Brewer, P. (2006). CMAQ/CAMx annual 2002 desempenho evaluation over the Eastern US. *Atmospheric Environment*, 40 (26), 4906-4919.

USEPA – U.S. Environmental Protection Agency (1999). Guideline for developing an ozono forecasting program. Report EPA-454/R-99-009.

Vautard, R., Beekmann, M., Roux, J., Gombert, D. (2001). Validation of a deterministic forecasting system for the ozone concentrations over the Paris area. *Atmospheric Environment*, 35, 2449-2461.

Vautard, R., Beekmann, M., Bessagnet, B., Blond, N., Hodzic, A., Honoré, C., Malherbe, L., Menut, L., Rouil, L., Roux, J. (2004). The use of MM5 for operationa ozone/NOx/aerosols prediction in Europe: strengths and weaknesses of MM5. Paper 5<sup>th</sup> WRF /14<sup>th</sup> MM5, Users' Workshop NCAR, June 22-25, 2004. Disponível em: [www.mmm.ucar.edu/mm5/workshop/ws04/Session4/Vautard.Robert.pdf](http://www.mmm.ucar.edu/mm5/workshop/ws04/Session4/Vautard.Robert.pdf).

Yu, Y., Sokhi, R.S., Kitwiroon, N., Middleton, D.R., Fisher, B. (2008). Performance characteristics of MM5-SMOKE-CMAQ for a summer photochemical episode in southeast England, United Kingdom. *Atmospheric Environment* (in press).

Consulta de sites da internet (entre Outubro 2008 e Maio 2009)

**URL 1:** <http://www.qualar.org/>

**URL 2:** <http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>

**URL 3:** [http://www2.dao.ua.pt/gemac/previsao qar/](http://www2.dao.ua.pt/gemac/previsao_qar/)

**URL 4:** <http://www.apambiente.pt/Instrumentos/Planoacao/DelimZonAglom/>

**URL 5:** <http://www.iapmei.pt/>

**URL 6:** <http://www.chemicalweather.eu/>

**URL 7:** <http://pumpkin.aquila.infn.it/forechem/>

**URL 8:** <http://www.cmar.csiro.au/research/tapm/>



## **Anexos**



## Anexo A – Rede de monitorização da qualidade do ar em Portugal, no ano 2008.

Na tabela que se segue são apresentadas todas as estações de monitorização da qualidade do ar operacionais em 2008. A sublinhado, apresentam-se as estações que, neste ano, apresentaram uma eficiência superior a 85%, tendo por base o DL 111/2002 e Garber *et al.* [2002].

**Tabela A.1** – Estações de monitorização existentes em Portugal, em 2008 [URL 1].

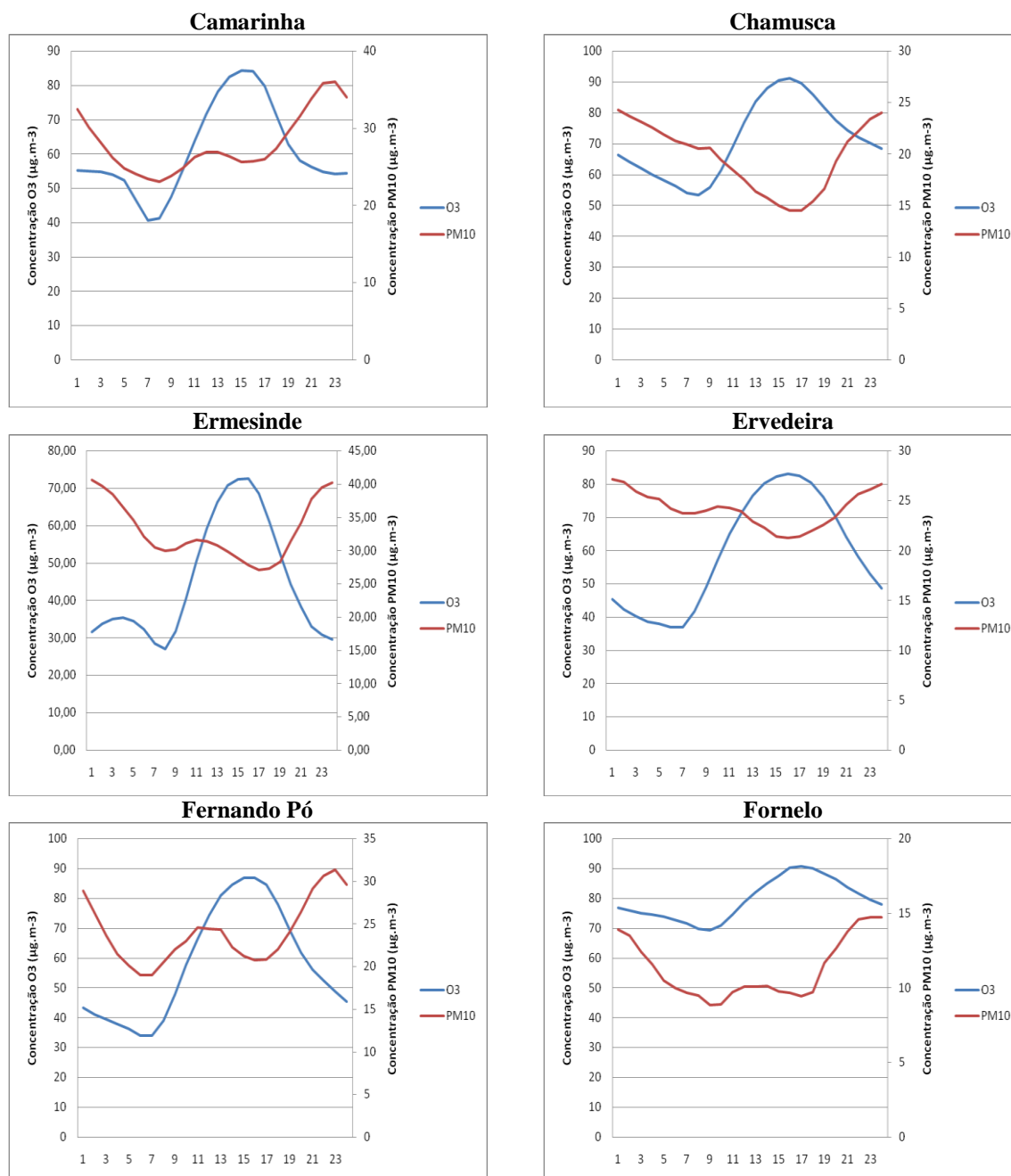
Região	Zona	Estação	Tipo de Ambiente	Tipo de Influência
Norte	<b>Norte Litoral</b>	Senhora do Minho	rural	Fundo
	<b>Norte Interior</b>	Lamas de Olo	rural	Fundo
	<b>Braga</b>	Circular Sul	urbana	Tráfego
		Horto	suburbana	Fundo
	<b>Vale do Ave</b>	Guimarães	urbana	Tráfego
		Santo Tirso	urbana	Fundo
		Calendário	suburbana	Fundo
	<b>Vale do Sousa</b>	Paredes	urbana	Tráfego
		Centro Lacticínios	urbana	Fundo
	<b>Porto Litoral</b>	Espinho	urbana	Tráfego
		Baguim	urbana	Tráfego
		Vermoim	urbana	Tráfego
		Vila Nova da Telha	suburbana	Fundo
		Águas Santas	urbana	Tráfego
		Custóias	suburbana	Industrial
		Leça do Balio	suburbana	Fundo
		Matosinhos	urbana	Tráfego
		Perafita	suburbana	Industrial
		Senhora da Hora	urbana	Tráfego
		Antas	urbana	Tráfego
		Boavista	urbana	Tráfego
		Sobreiras	urbana	Fundo
		Ermesinde	urbana	Fundo
		Vila do Conde	suburbana	Tráfego
Centro	<b>ZI. Estarreja</b>	Teixugueira	suburbana	Industrial
	<b>Centro Interior</b>	Fundão	rural	Fundo
		Fornelo do Monte	rural	Fundo
	<b>Aveiro/Ílhavo</b>	Aveiro	urbana	Tráfego
		Ílhavo	suburbana	Fundo
	<b>Centro Litoral</b>	Ervedeira	rural	Fundo
		Montemor-o-Velho	rural	Fundo
	<b>Coimbra</b>	Coimbra/Avenida Fernão Magalhães	urbana	Tráfego
		Instituto Geofísico de Coimbra	urbana	Fundo
Lisboa e Vale do Tejo	<b>Vale do Tejo e Oeste</b>	Chamusca	rural	Fundo
		Lourinhã	rural	Fundo
	<b>AML Norte</b>	Alfragide	urbana	Fundo
		Reboleira	urbana	Fundo
		Cascais	urbana	Tráfego
		Avenida da Liberdade	urbana	Tráfego
		Beato	urbana	Fundo

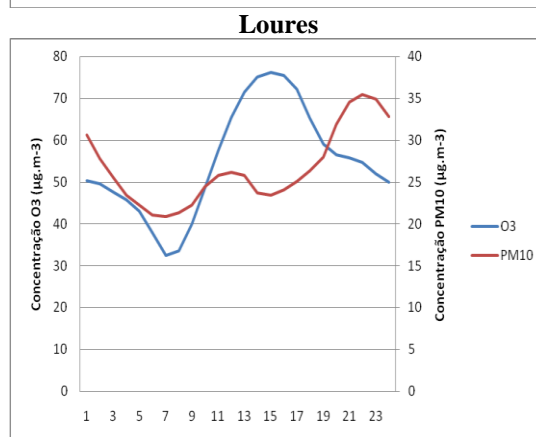
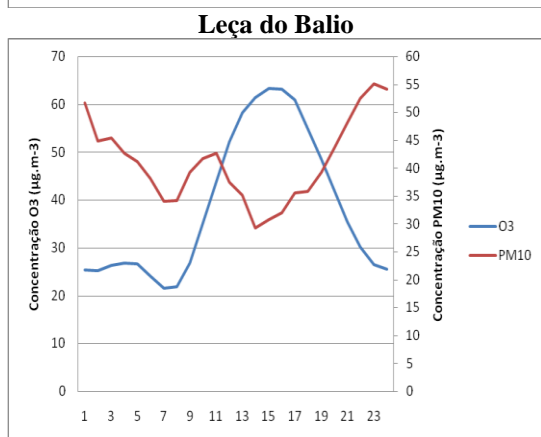
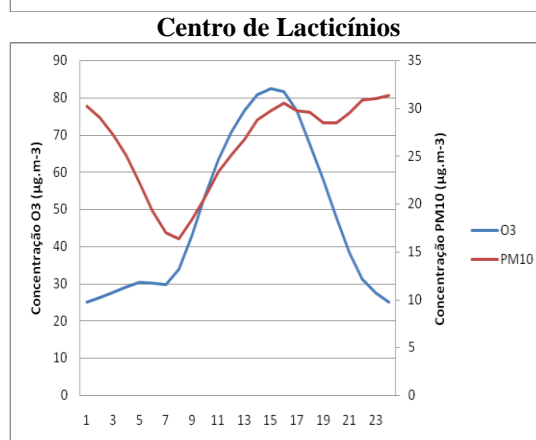
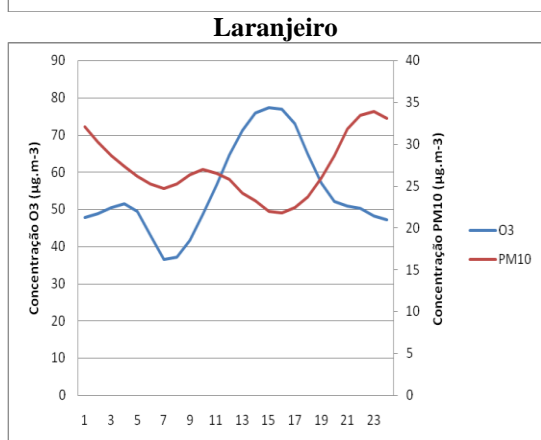
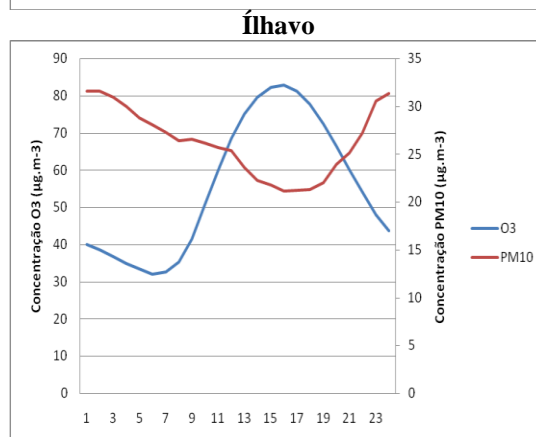
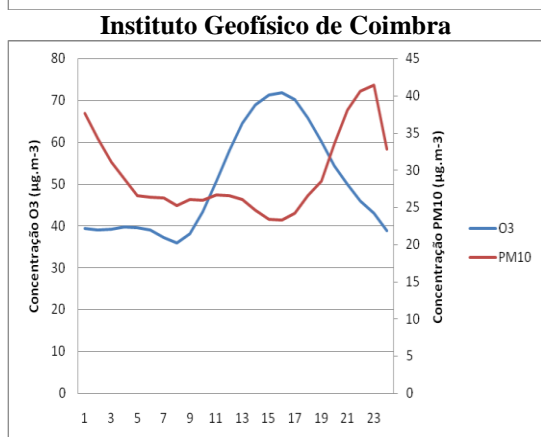
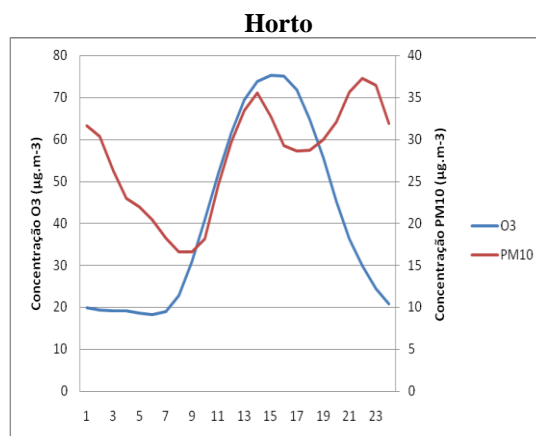
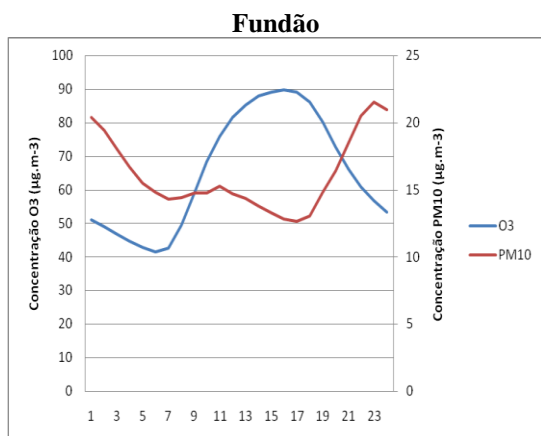


		Chelas	urbana	Fundo	
		Entrecampos	urbana	Tráfego	
		Olivaís	urbana	Fundo	
		Restelo	urbana	Fundo	
		Santa Cruz do Benfica	urbana	Tráfego	
		Loures	urbana	Fundo	
		Odivelas	urbana	Tráfego	
		Quinta do Marquês	urbana	Fundo	
		Mem-Martins	urbana	Fundo	
		Alverca	urbana	Fundo	
	AML Sul	Laranjeiro	urbana	Fundo	
		Alto Seixalinho	urbana	Tráfego	
		Escavadeira	urbana	Industrial	
		Lavradio	urbana	Industrial	
		Paio Pires	suburbana	Fundo	
	Setúbal	Arcos	urbana	Fundo	
		Camarinha	urbana	Fundo	
		Quebedo	urbana	Tráfego	
	Península de Setúbal/ Álcacer do Sal		Fernando Pó	rural	Fundo
	Alentejo	Alentejo Litoral	Monte Velho	rural	Fundo
Santiago do Cacém			urbana	Industrial	
Sonega			rural	Industrial	
Monte Chãos			suburbana	Industrial	
Sines			suburbana	Tráfego	
Alentejo Interior		Terena	rural	Fundo	
Algarve	Algarve	Cerro	rural	Fundo	
	Portimão/ Lagoa	David Neto	urbana	Tráfego	
		Pontal	urbana	Fundo	
	Albufeira/ Loulé	Malpique	urbana	Fundo	
		Município	urbana	Tráfego	
	Faro/Olhão	Afonso III	urbana	Tráfego	
		Joaquim Magalhães	urbana	Fundo	

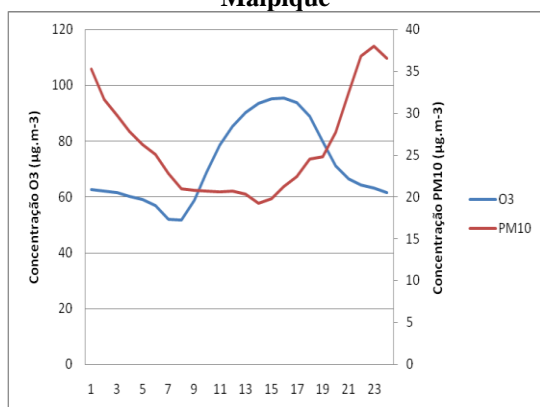
## Anexo B – Análise do tipo de estações de monitorização da qualidade do ar, entre 2006 a 2008.

Análise efectuada para todas as estações de fundo no período 2006-2008.

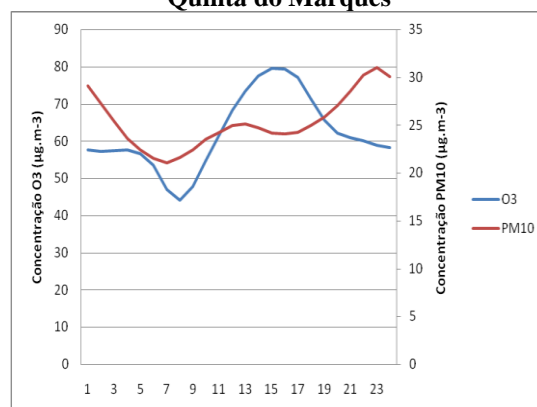




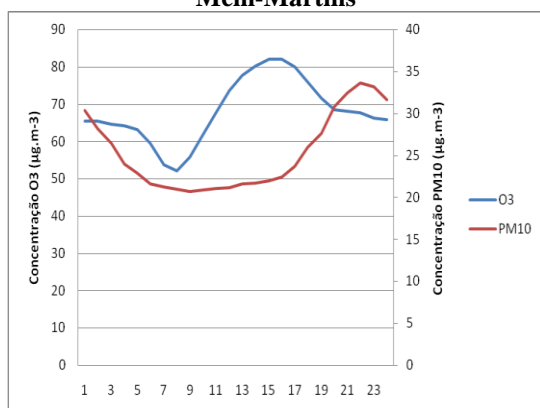
**Malpique**



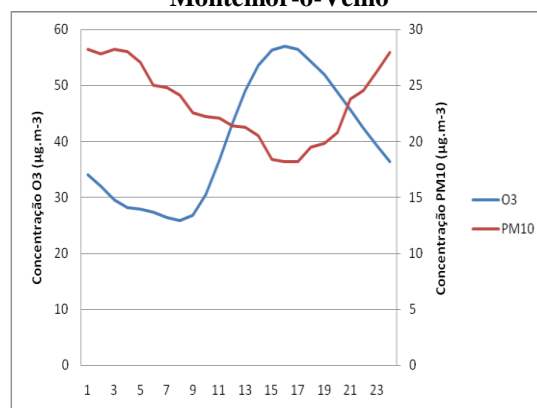
**Quinta do Marquês**



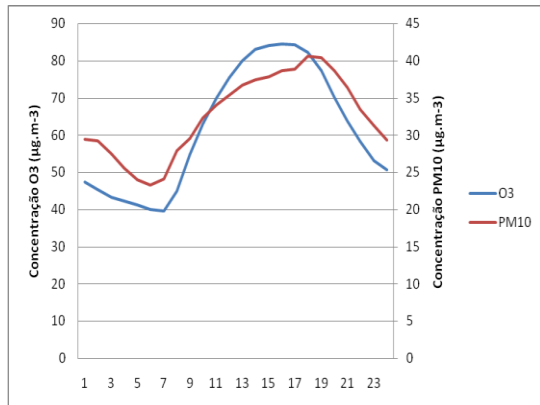
**Mem-Martins**



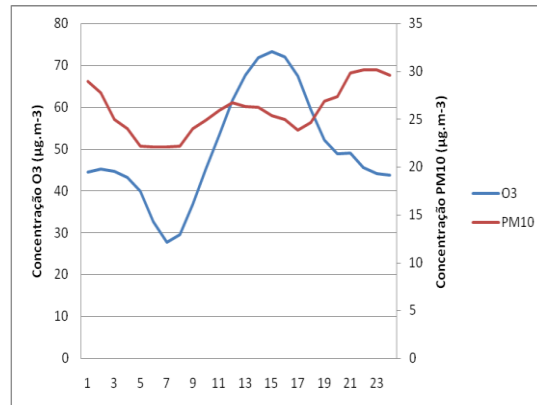
**Montemor-o-Velho**



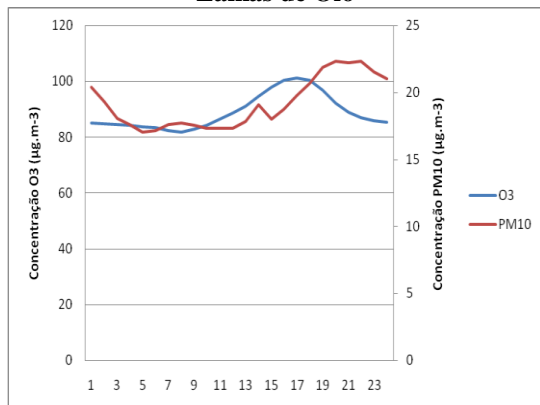
**Monte Velho**



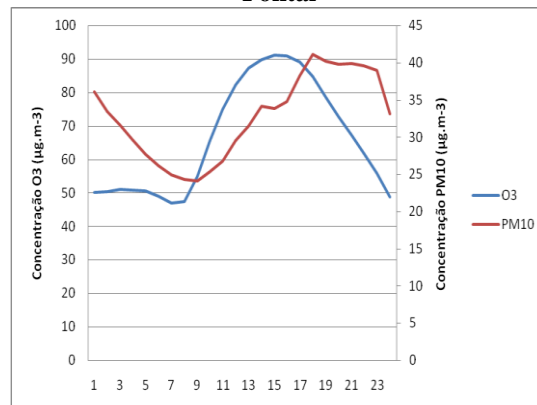
**Olivais**

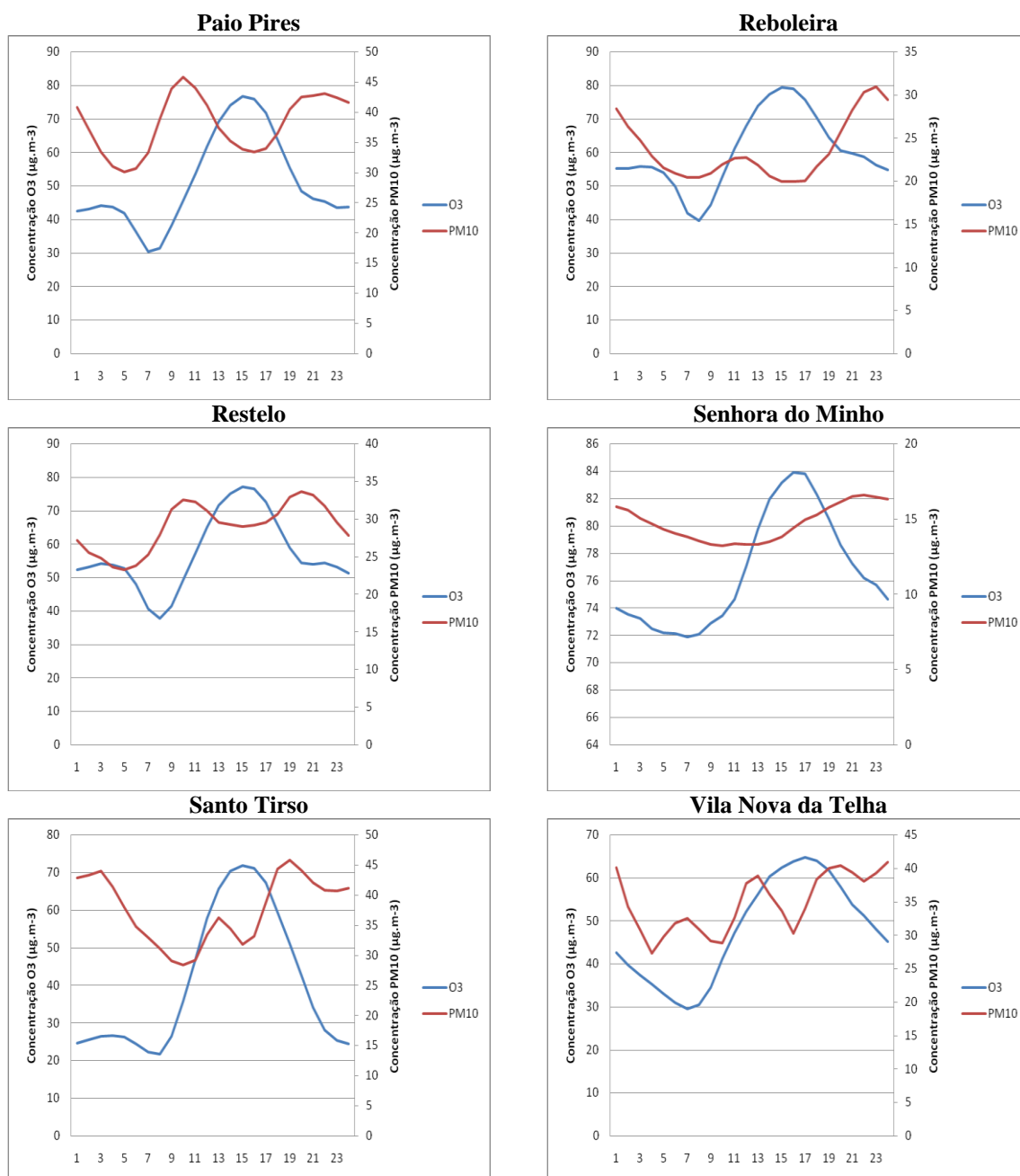


**Lamas de Olo**



**Pontal**





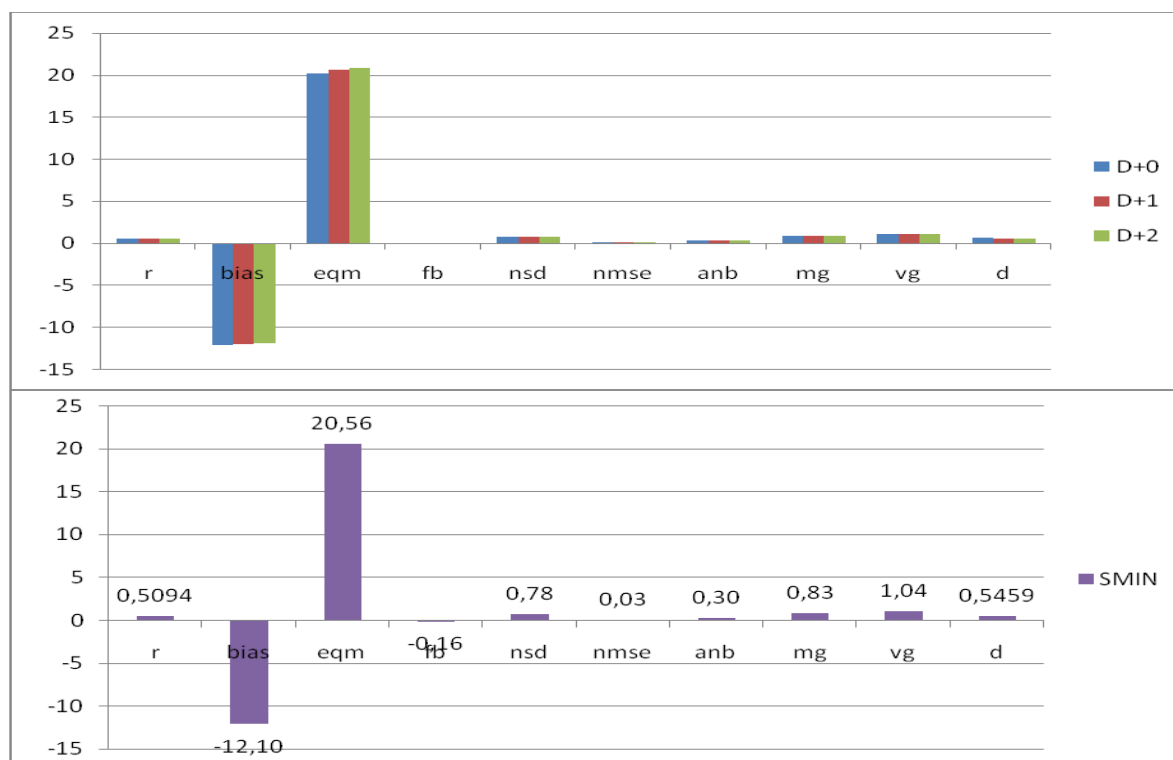
**Figura B.1** – Evolução diária das médias horárias de O<sub>3</sub> e PM<sub>10</sub>, para o período 2006-2008, para as estações de fundo.

## Anexo C– Validação do sistema MM5-CHIMERE para o ozono

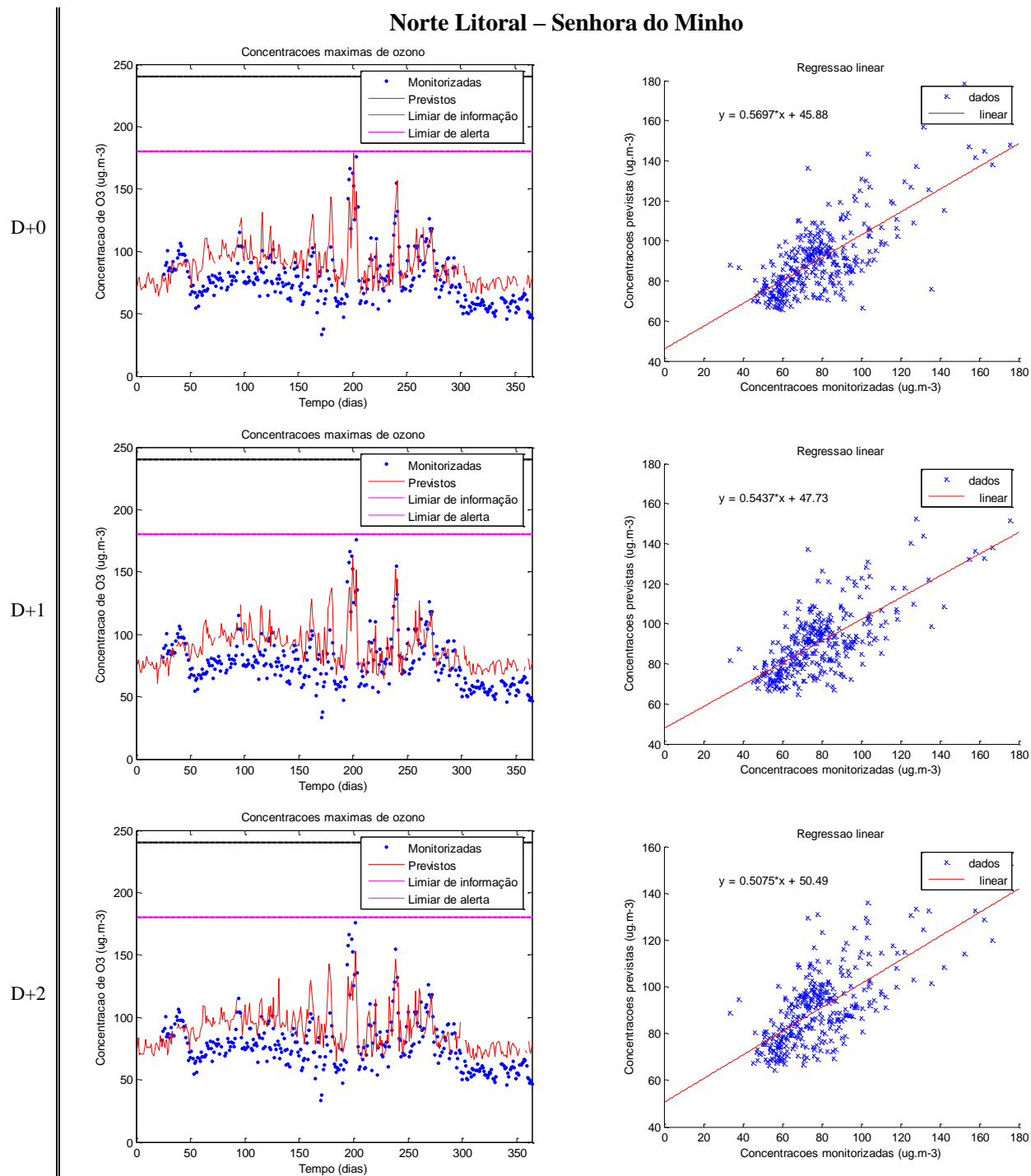
### Norte Litoral – Senhora do Minho

**Tabela C.1** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,5504	-12,20	20,17	-0,17	0,79	0,03	0,30	0,83	1,03	0,58
D+1	0,5085	-12,10	20,64	-0,17	0,79	0,03	0,30	0,83	1,03	0,55
D+2	0,4694	-11,99	20,87	-0,16	0,76	0,03	0,30	0,83	1,03	0,51
Média	0,5094	-12,10	20,56	-0,16	0,78	0,03	0,30	0,83	1,03	0,54



**Figura C.1** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Senhora do Minho.

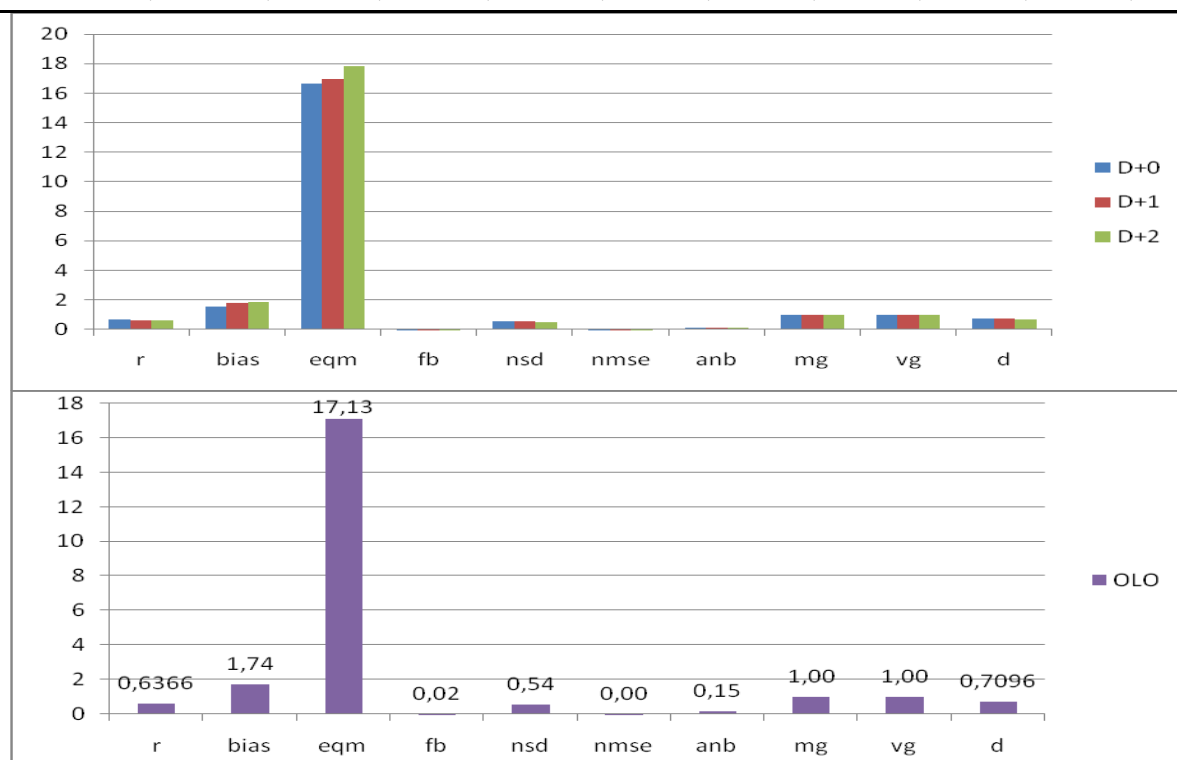


**Figura C.2** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

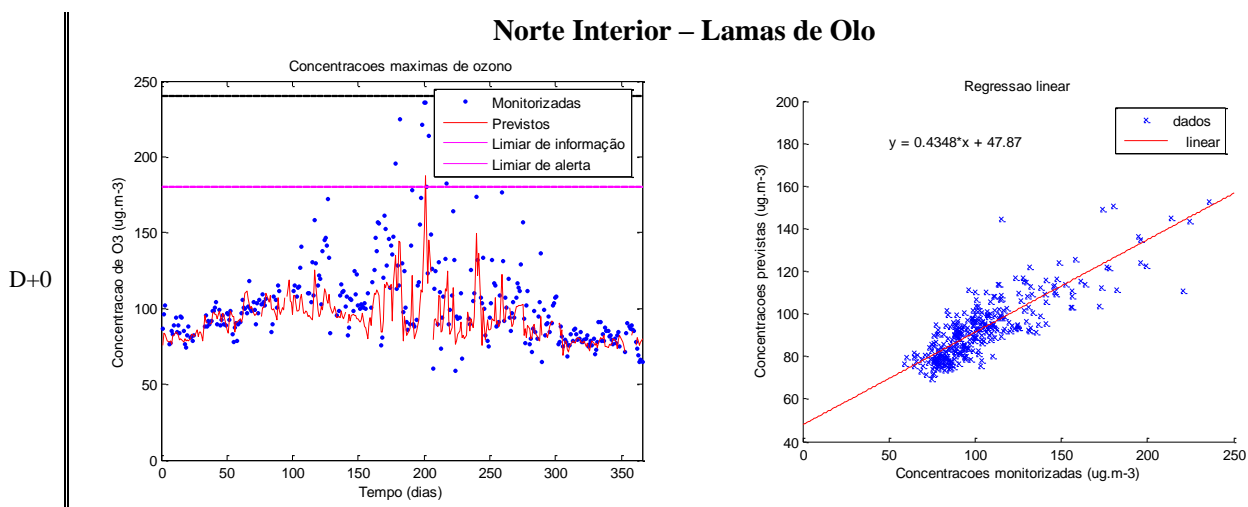
Norte Interior – Lamas de Olo

**Tabela C.2** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

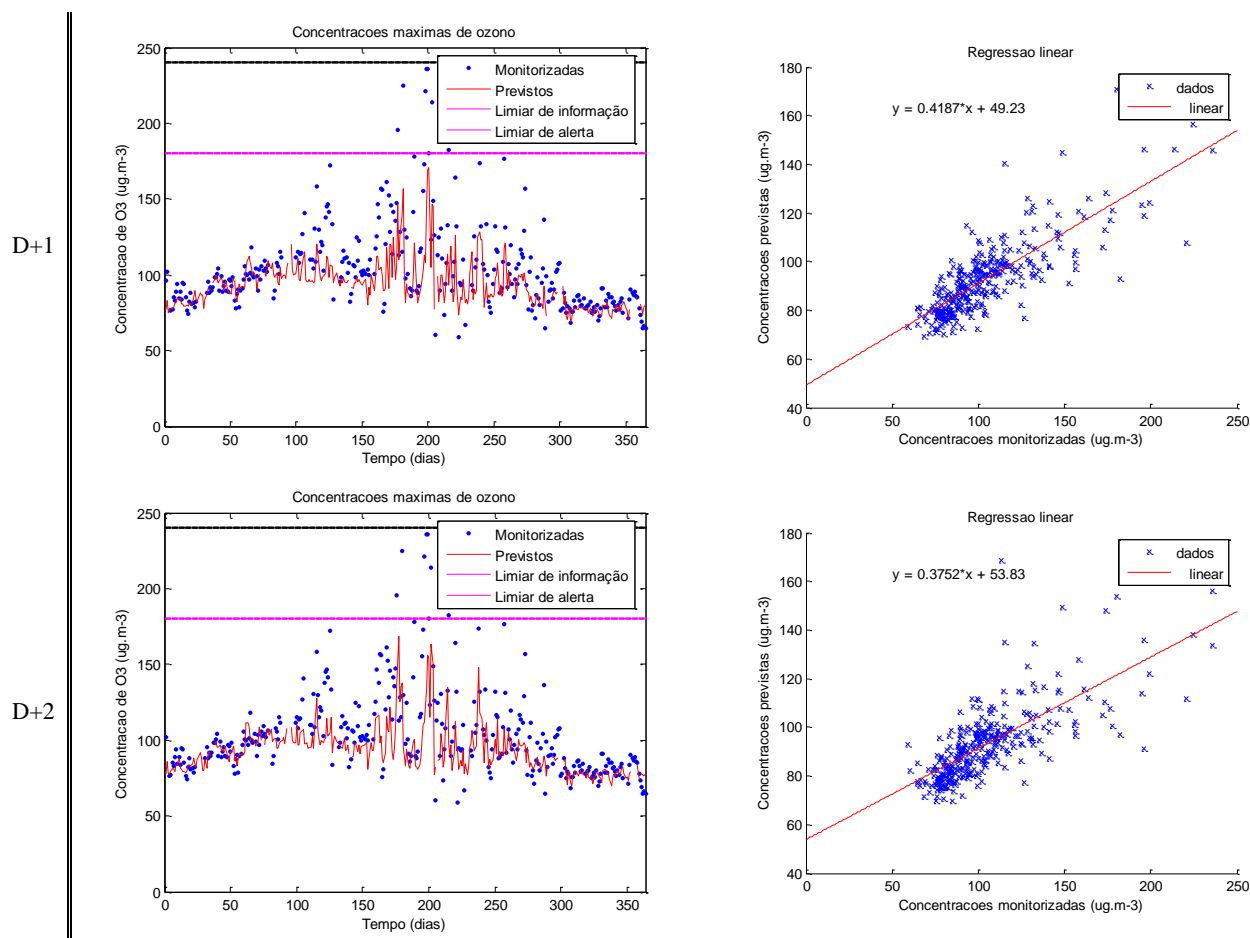
	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,670	1,57	16,62	0,02	0,54	0,00	0,14	1,00	1,00	0,73
D+1	0,644	1,80	16,97	0,02	0,55	0,00	0,14	1,00	1,00	0,72
D+2	0,595	1,84	17,80	0,02	0,53	0,00	0,15	1,00	1,00	0,68
Média	0,637	1,74	17,13	0,02	0,54	0,00	0,15	1,00	1,00	0,71



**Figura C.3** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Lamas de Olo.





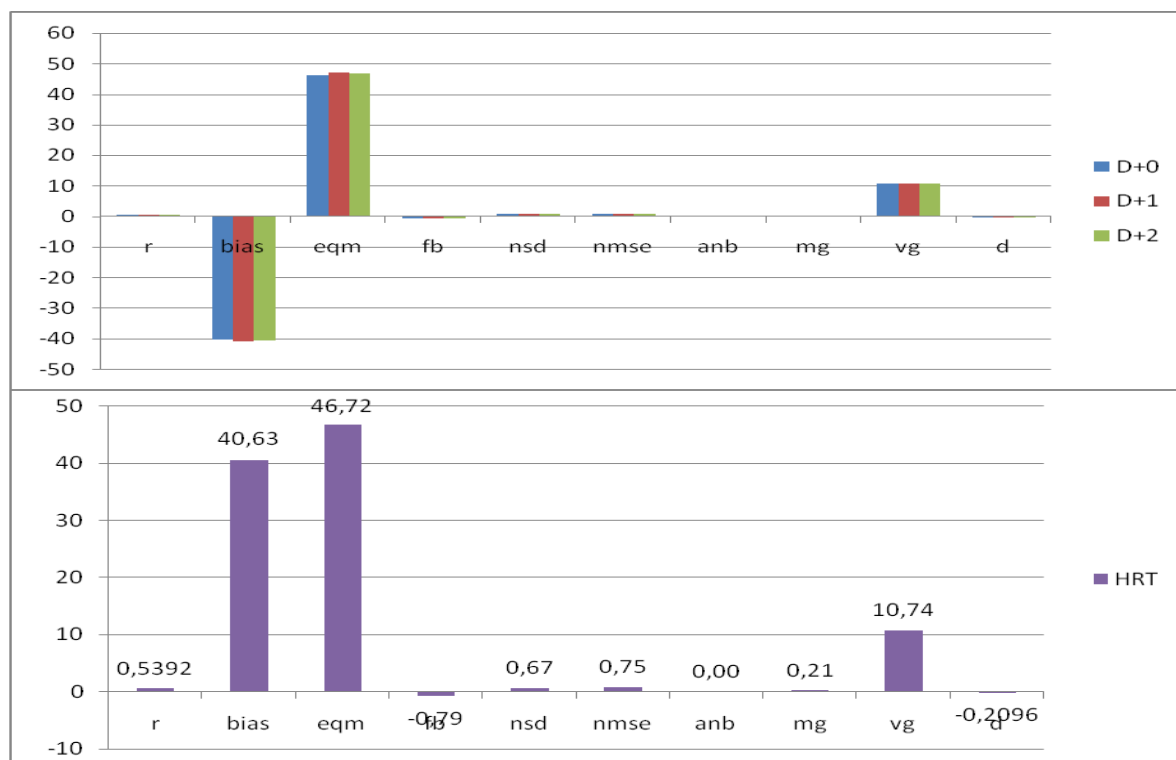


**Figura C.4** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

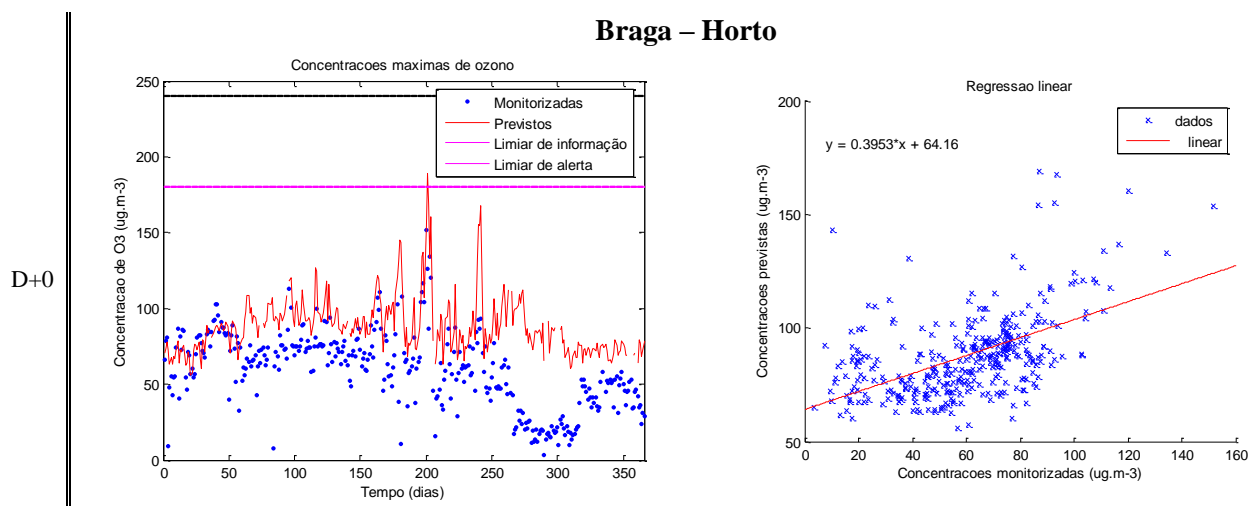
### Braga – Horto

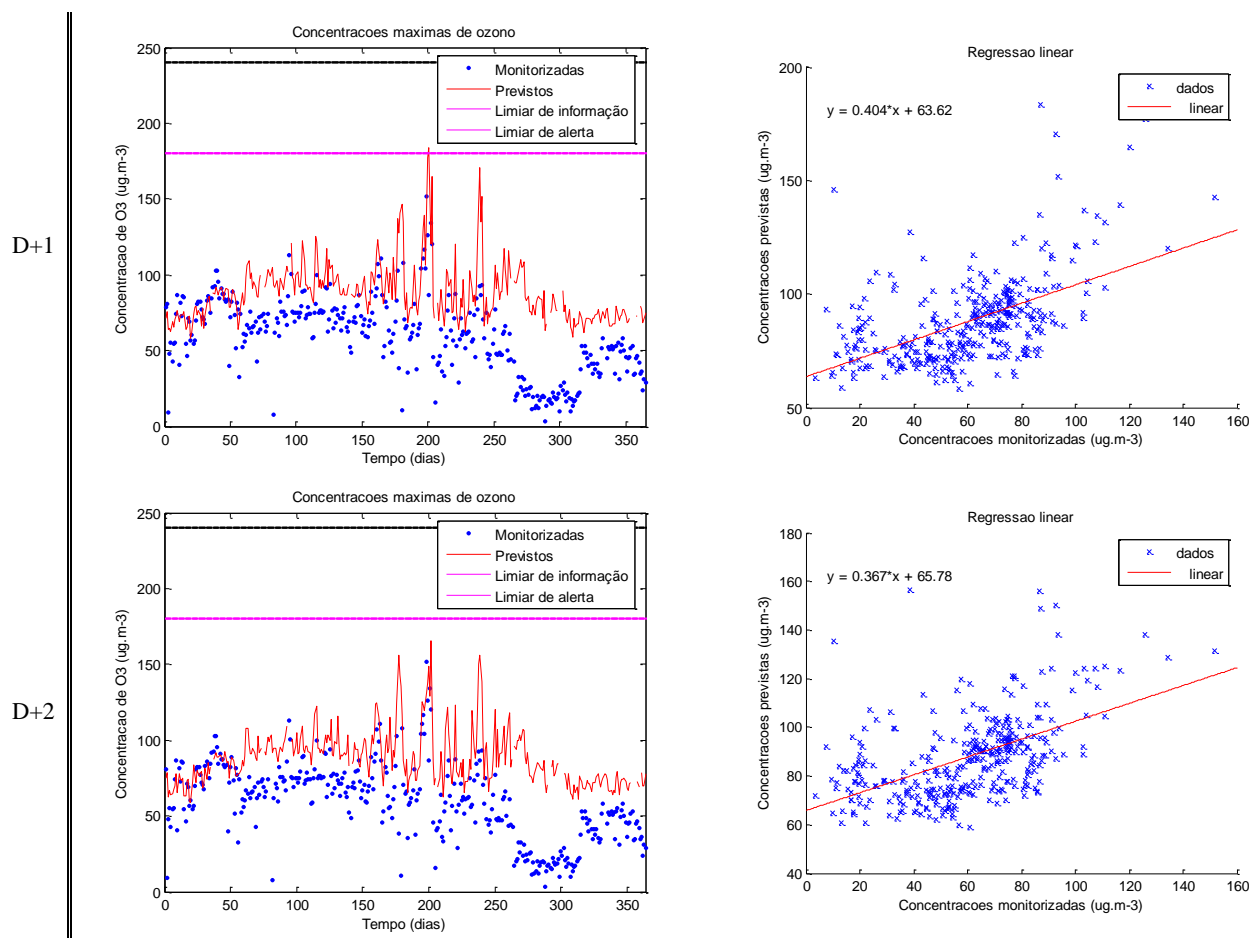
**Tabela C.3** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,5573	-40,31	46,28	-0,79	0,69	0,74	n.a.	0,22	10,61	-0,17
D+1	0,5311	-40,88	47,03	-0,80	0,67	0,76	n.a.	0,21	10,78	-0,23
D+2	0,5292	-40,70	46,85	-0,80	0,66	0,75	n.a.	0,21	10,82	-0,24
Média	0,5392	40,63	46,72	-0,79	0,67	0,75	n.a.	0,21	10,74	-0,21



**Figura C.5** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Horta.



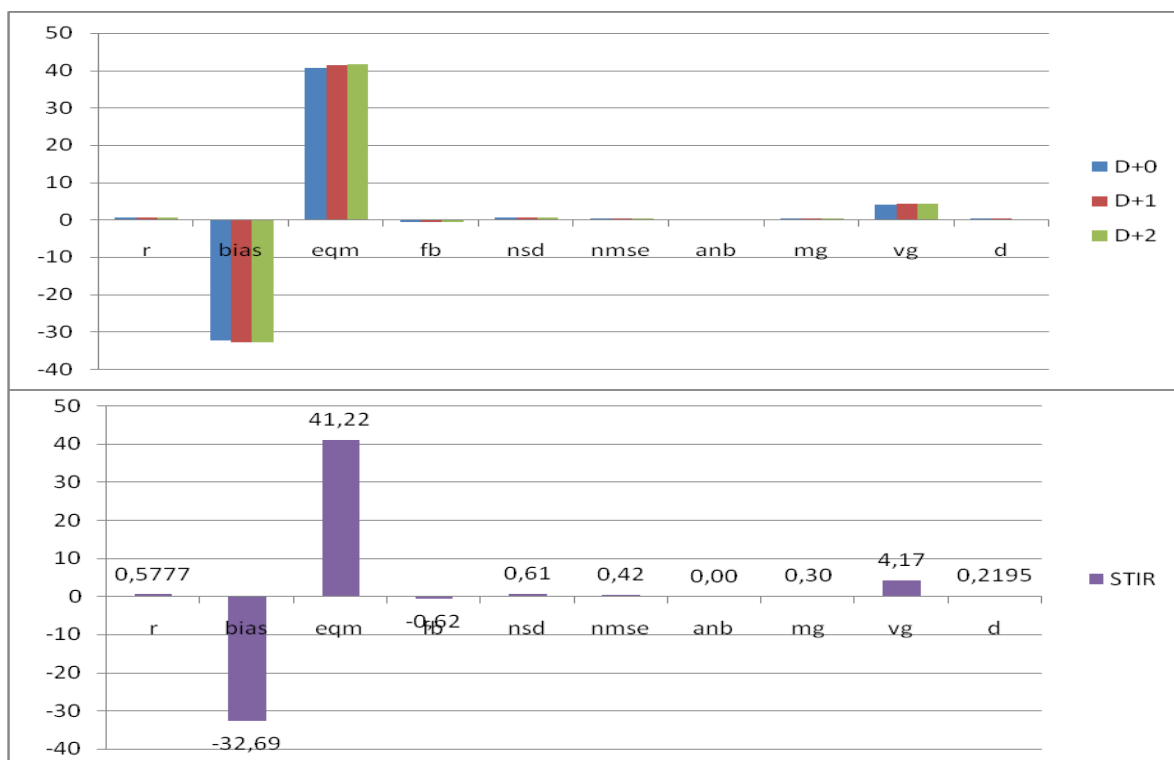


**Figura C.6** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

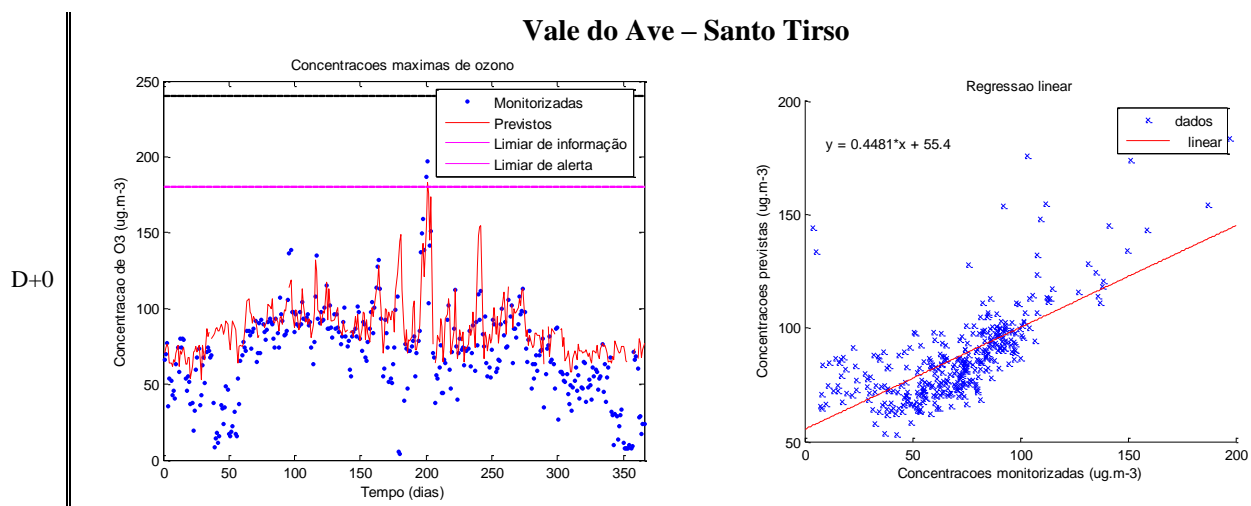
### Vale do Ave – Santo Tirso

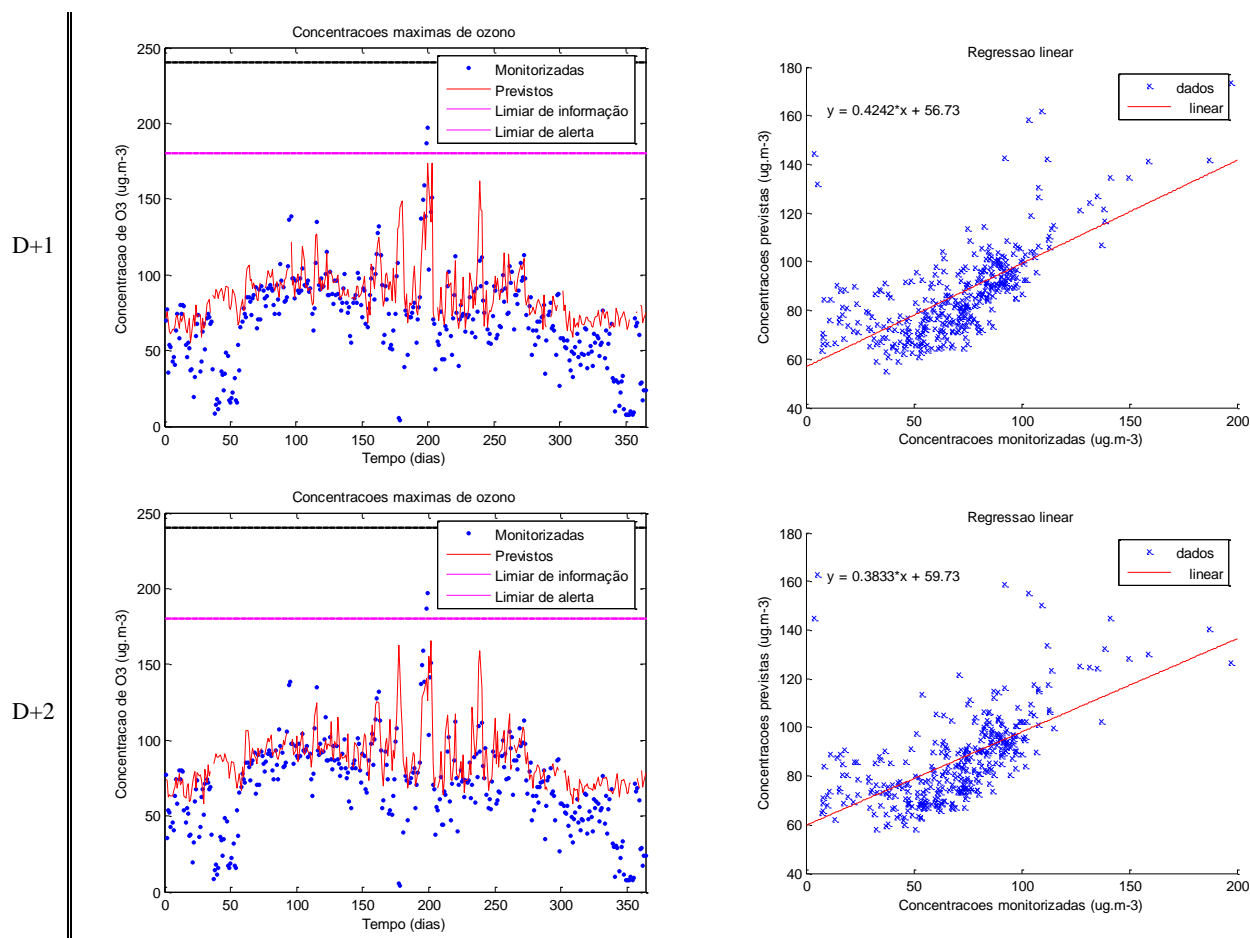
**Tabela C.4** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,6019	-32,46	40,70	-0,61	0,62	0,42	n.a.	0,31	4,07	0,25
D+1	0,5689	-32,79	41,43	-0,62	0,61	0,42	n.a.	0,30	4,16	0,21
D+2	0,5623	-32,81	41,54	-0,62	0,61	0,43	n.a.	0,30	4,28	0,20
Média	0,5777	-32,69	41,22	-0,62	0,61	0,42	n.a.	0,30	4,17	0,22



**Figura C.7** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Santo Tirso.



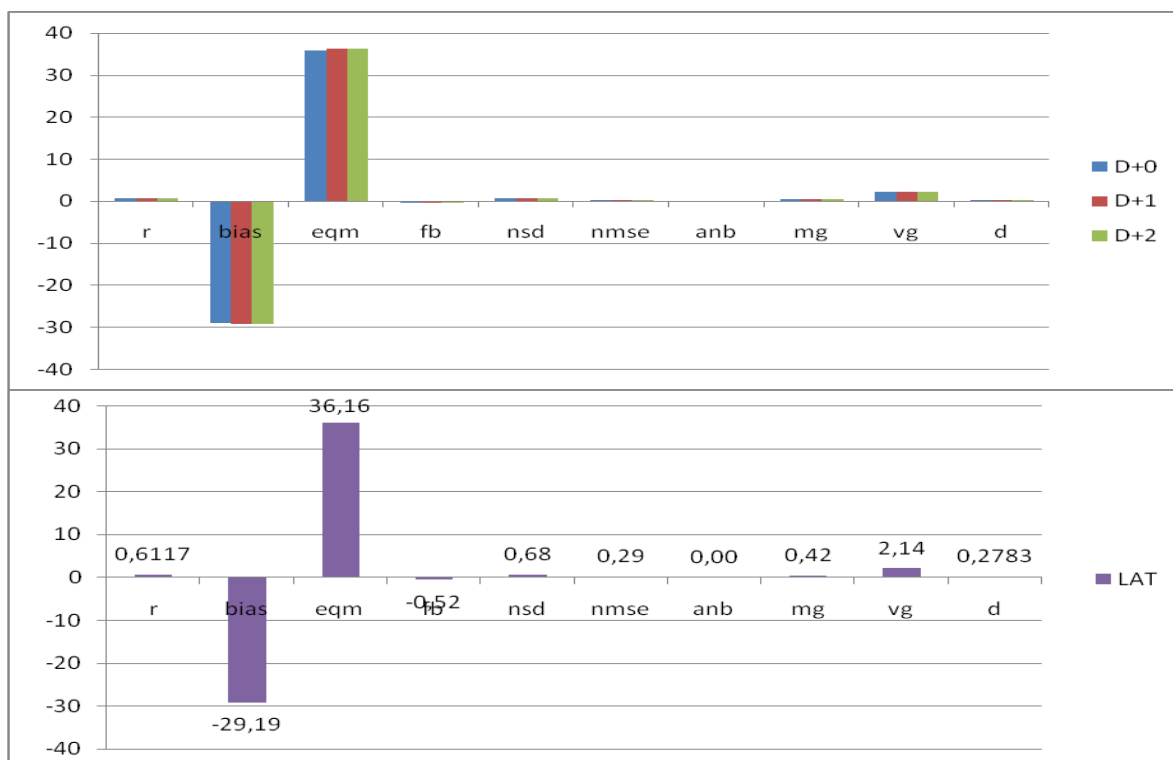


**Figura C.8** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

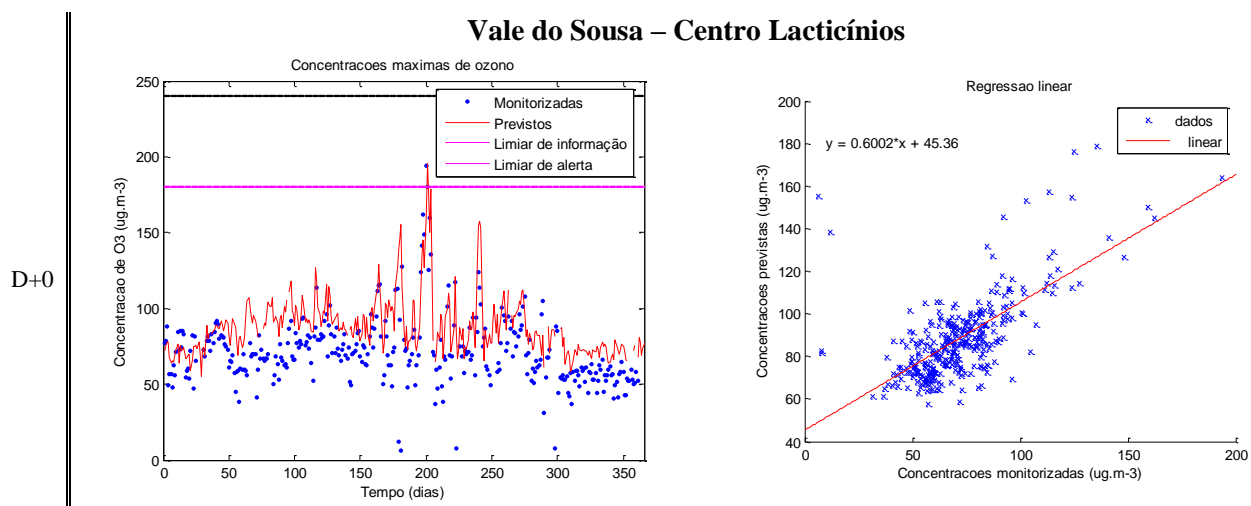
### Vale do Sousa – Centro Lacticínios

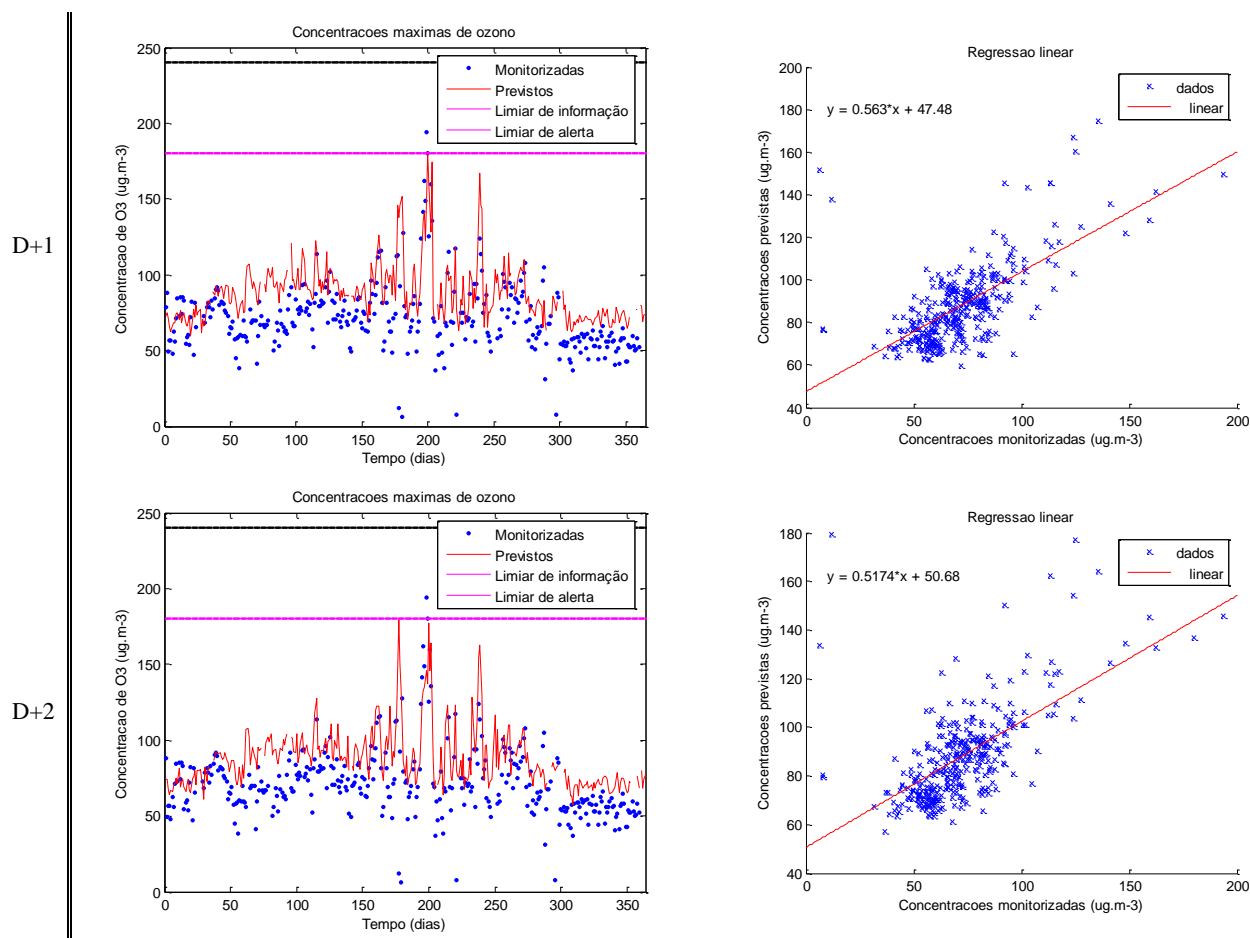
**Tabela C.5** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,6362	-29,11	35,75	-0,52	0,69	0,29	n.a.	0,42	2,14	0,30
D+1	0,6016	-29,25	36,35	-0,52	0,68	0,29	n.a.	0,42	2,14	0,27
D+2	0,5974	-29,22	36,38	-0,52	0,67	0,30	n.a.	0,42	2,15	0,26
Média	0,6117	-29,19	36,16	-0,52	0,68	0,29	n.a.	0,42	2,14	0,28



**Figura C.9** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Centro Lacticínios.





**Figura C.10** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

### Porto Litoral - Ermesinde

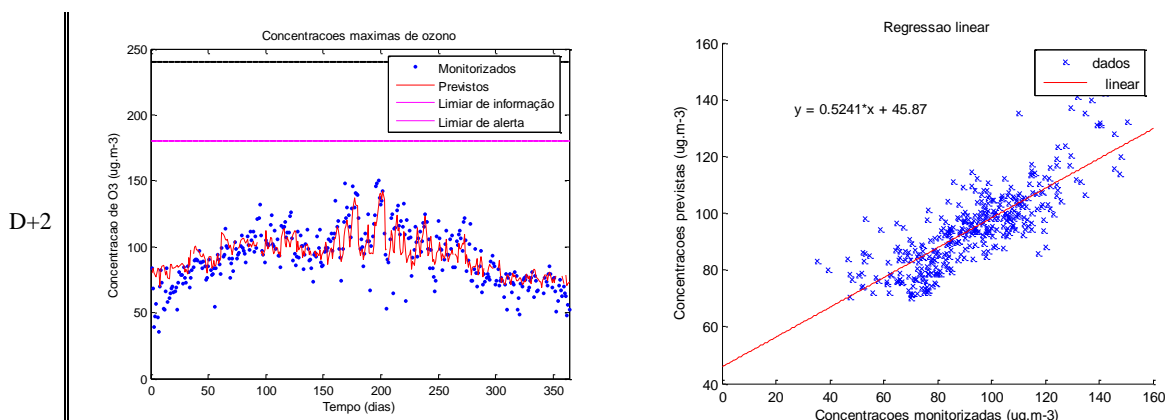
**Tabela C.6** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,6161	-17,57	29,22	-0,35	0,76	0,13	n.a.	0,49	1,68	0,64
D+1	0,5783	-17,96	30,24	-0,36	0,75	0,13	n.a.	0,48	1,70	0,60
D+2	0,5676	-18,04	30,50	-0,36	0,75	0,13	n.a.	0,48	1,71	0,59
Média	0,5873	-17,86	29,99	-0,35	0,76	0,13	n.a.	0,48	1,70	0,61

### Centro Interior - Fundão

**Tabela C.7** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,6696	-19,74	30,09	-0,27	0,48	0,07	1,28	0,66	1,19	0,48
D+1	0,6132	-19,63	30,69	-0,27	0,49	0,07	1,30	0,66	1,18	0,46
D+2	0,6309	-19,47	30,39	-0,26	0,48	0,07	1,29	0,66	1,18	0,46
Média	0,6379	-19,61	30,39	-0,27	0,48	0,07	1,29	0,66	1,19	0,47

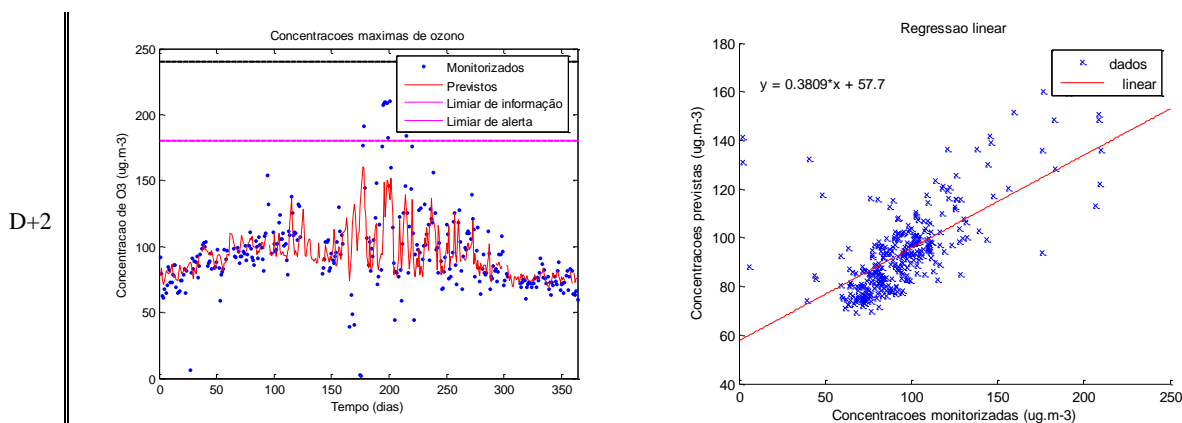


**Figura C.11** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

### Centro Interior – Forno do Monte

**Tabela C.8** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,5283	-4,97	21,07	-0,06	0,58	0,00	n.a.	0,89	1,01	0,65
D+1	0,4729	-4,83	21,86	-0,06	0,60	0,00	n.a.	0,90	1,01	0,62
D+2	0,4858	-4,88	21,61	-0,06	0,56	0,00	n.a.	0,89	1,01	0,62
Média	0,4957	-4,89	21,51	-0,06	0,58	0,00	n.a.	0,89	1,01	0,63



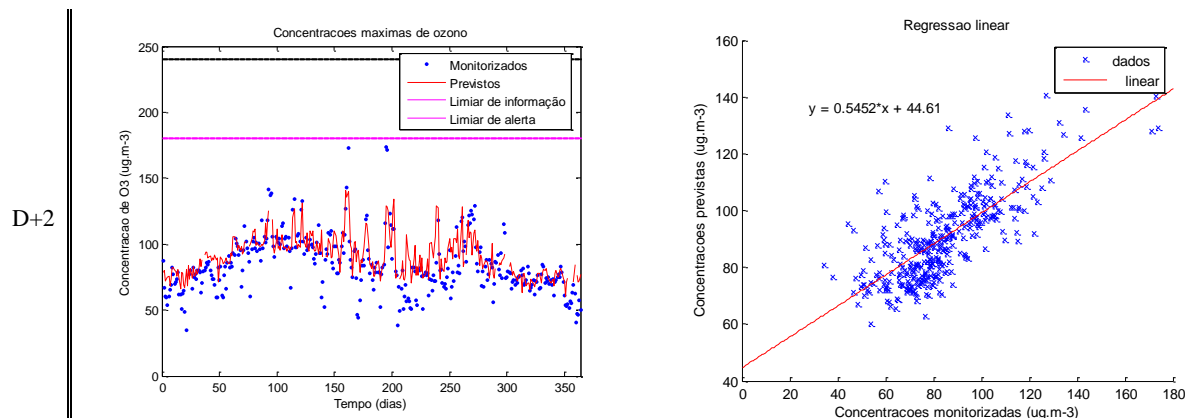
**Figura C.12** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

### Centro Litoral - Ervedeira

**Tabela C.9-** Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,7006	-19,07	26,74	-0,28	0,69	0,08	0,89	0,67	1,18	0,60
D+1	0,6506	-19,10	27,65	-0,28	0,70	0,08	0,88	0,67	1,17	0,57
D+2	0,6514	-18,91	27,51	-0,28	0,70	0,08	0,90	0,67	1,17	0,57
Média	0,6675	-19,03	27,30	-0,28	0,70	0,08	0,89	0,67	1,17	0,58



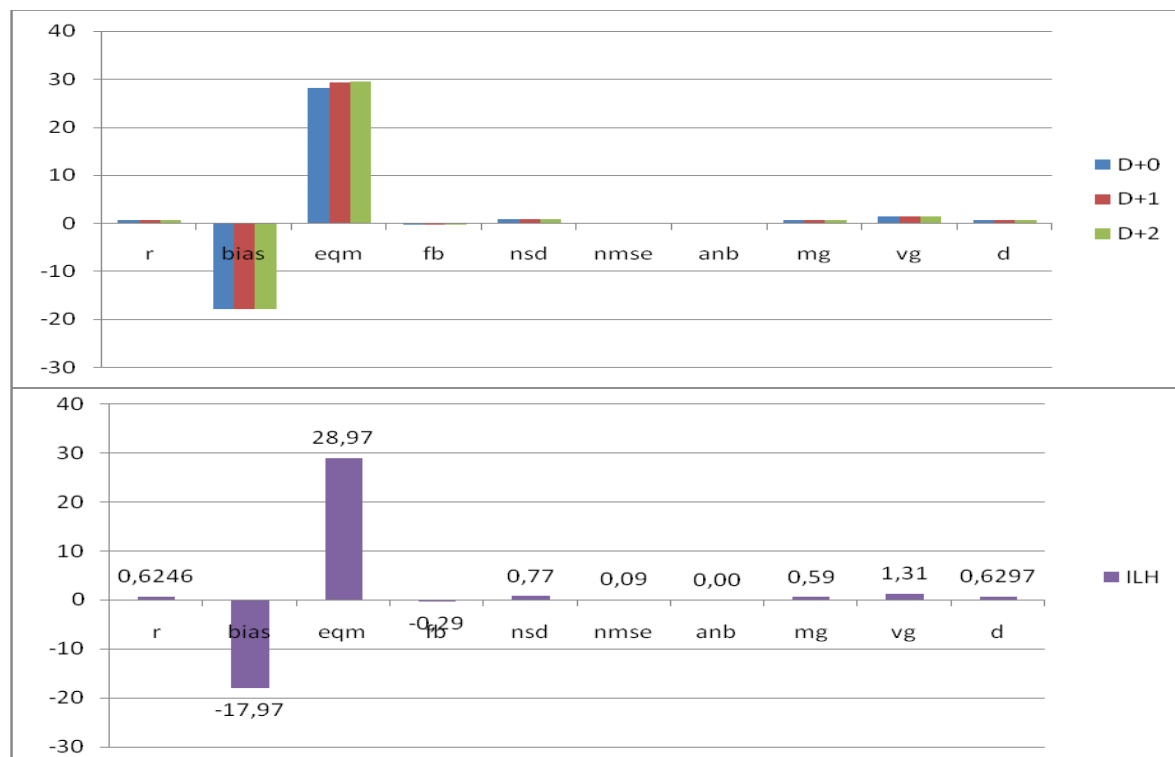


**Figura C.13** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

### Aveiro/Ílhavo – Ílhavo

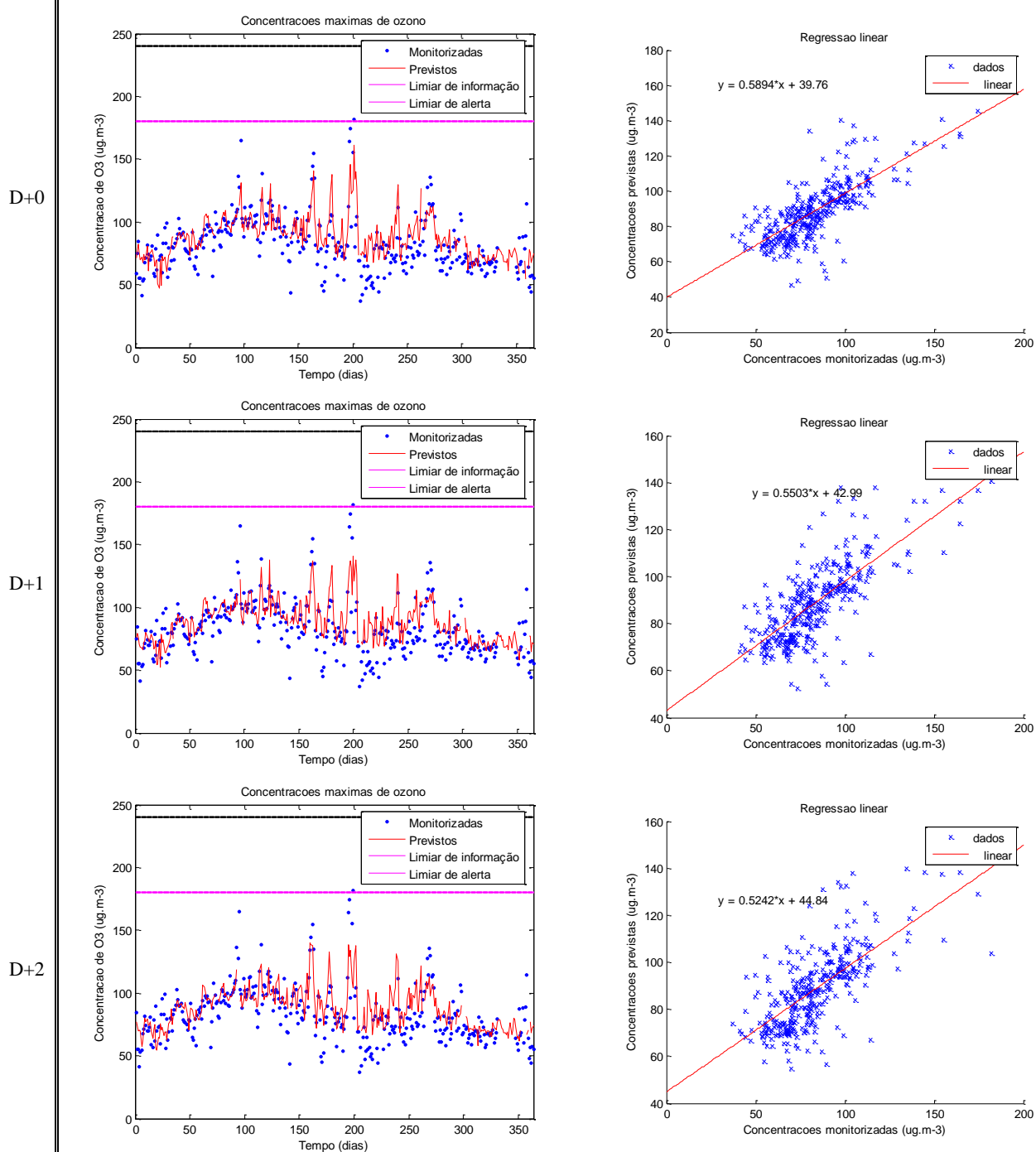
**Tabela C.10**- Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,6603	-17,86	28,11	-0,29	0,78	0,09	n.a.	0,59	1,31	0,66
D+1	0,6122	-18,01	29,31	-0,29	0,77	0,09	n.a.	0,59	1,31	0,62
D+2	0,6012	-18,03	29,51	-0,30	0,77	0,09	n.a.	0,59	1,32	0,61
Média	0,6246	-17,97	28,97	-0,29	0,77	0,09	n.a.	0,59	1,31	0,63



**Figura C.14** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Ílhavo.

### Aveiro/Ílhavo - Ílhavo

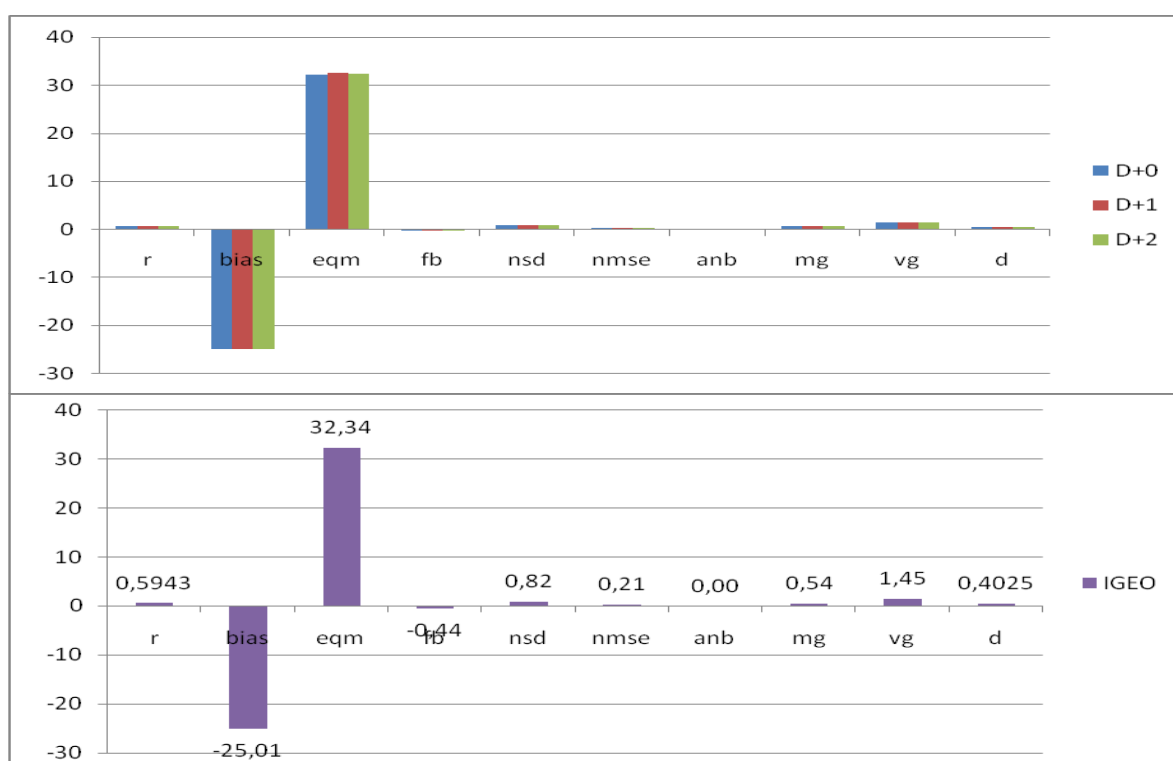


**Figura C.15** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

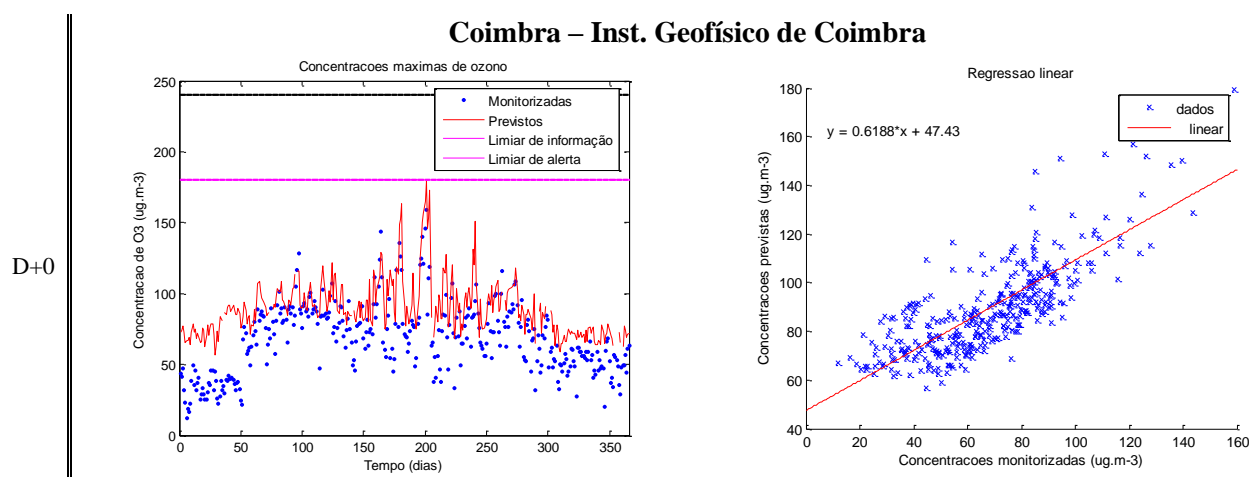
Coimbra – Instituto Geofísico de Coimbra

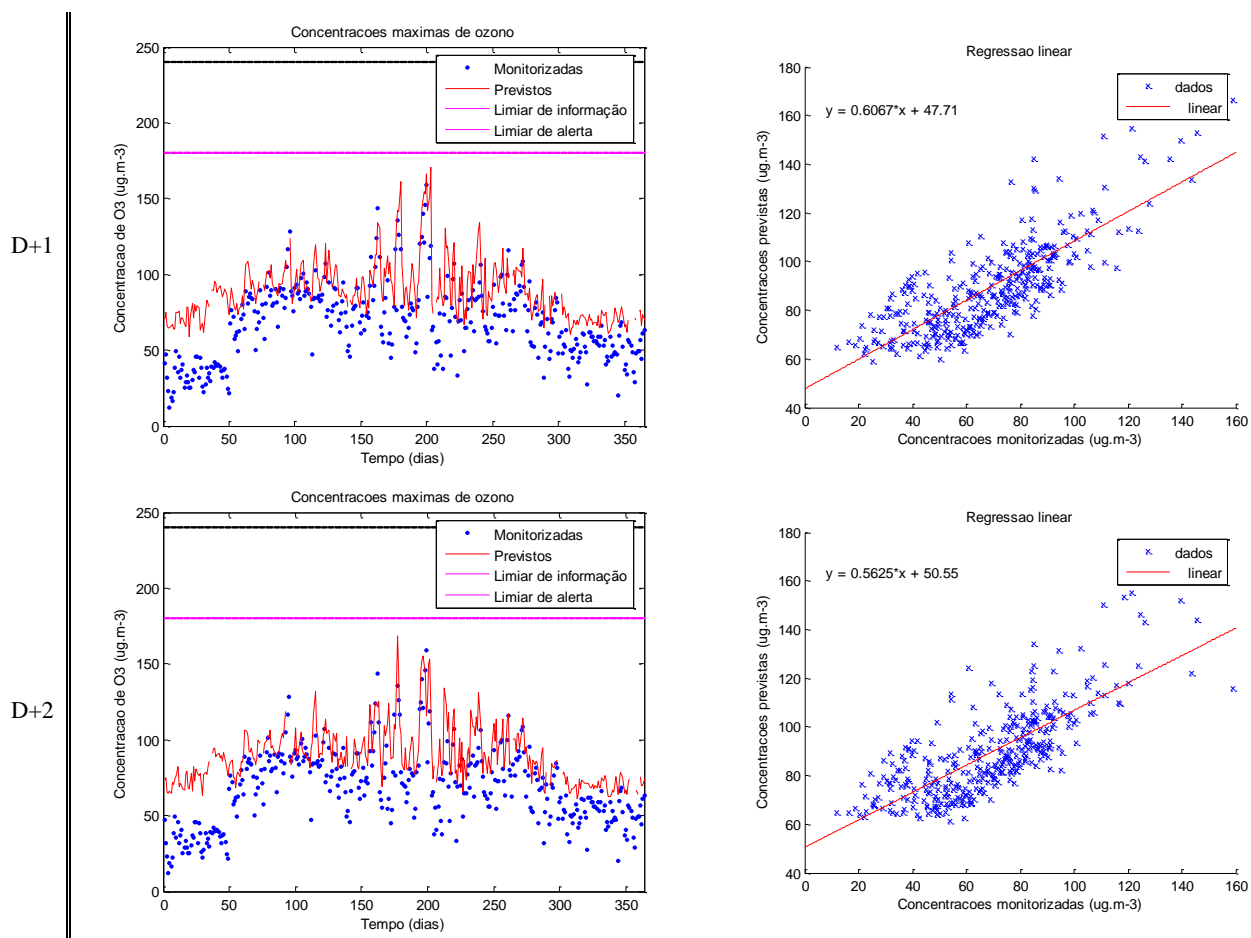
**Tabela C.11** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,6161	-25,04	32,10	-0,45	0,83	0,21	n.a.	0,54	1,46	0,42
D+1	0,5771	-24,94	32,56	-0,44	0,83	0,21	n.a.	0,55	1,44	0,39
D+2	0,5897	-25,03	32,36	-0,44	0,82	0,21	n.a.	0,54	1,45	0,39
Média	0,5943	-25,01	32,34	-0,44	0,82	0,21	n.a.	0,54	1,45	0,40



**Figura C.16** – Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Instituto Geofísico de Coimbra.





**Figura C.17** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

### Vale do Tejo e Oeste– Chamusca

**Tabela C.12** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,6704	-6,00	18,51	-0,08	0,74	0,01	0,28	0,89	1,01	0,77
D+1	0,6304	-6,08	19,45	-0,08	0,74	0,01	0,28	0,89	1,01	0,75
D+2	0,6381	-5,95	19,17	-0,08	0,72	0,01	0,29	0,89	1,01	0,75
Média	0,6463	-6,01	19,04	-0,08	0,74	0,01	0,28	0,89	1,01	0,76

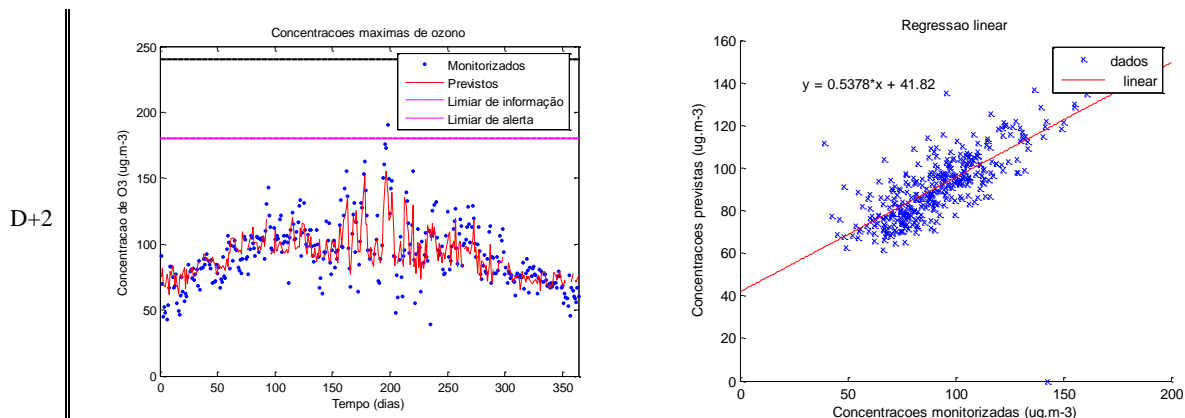


Figura C.18 - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

### AML Norte– Reboleira

Tabela C.13 - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,7308	-3,50	20,37	-0,06	0,82	0,00	1,04	0,87	1,02	0,84
D+1	0,7003	-3,43	21,47	-0,06	0,83	0,00	1,12	0,88	1,02	0,82
D+2	0,6782	-2,92	22,03	-0,05	0,82	0,00	1,10	0,89	1,01	0,81
Média	0,7308	-3,50	20,37	-0,06	0,82	0,00	1,04	0,87	1,02	0,84

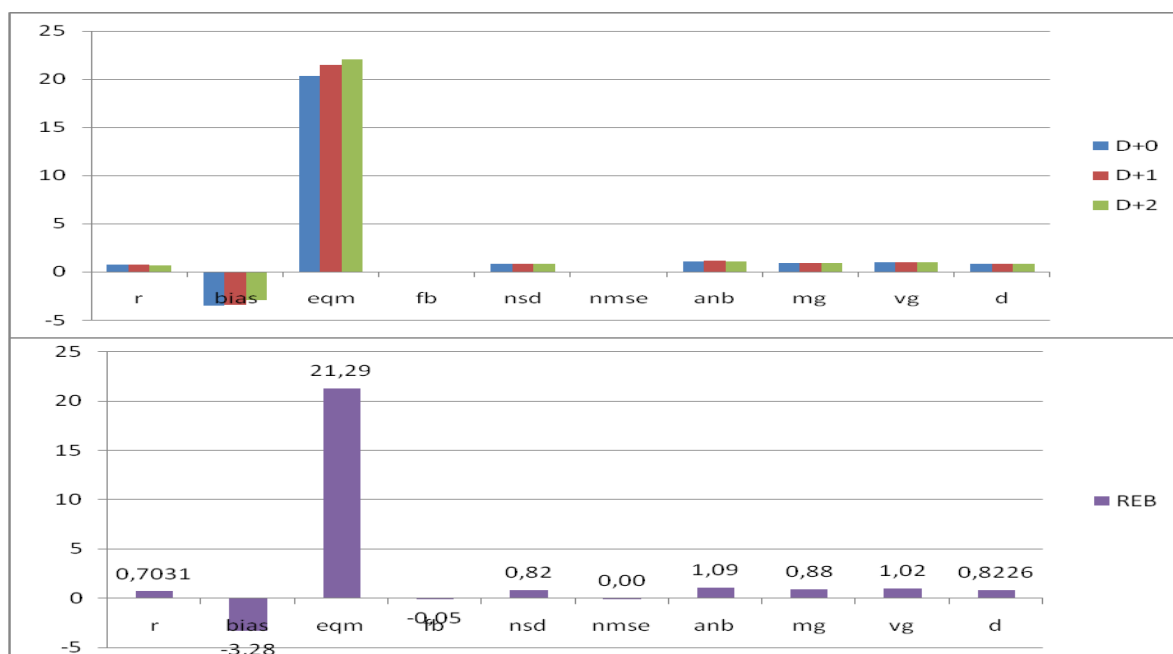
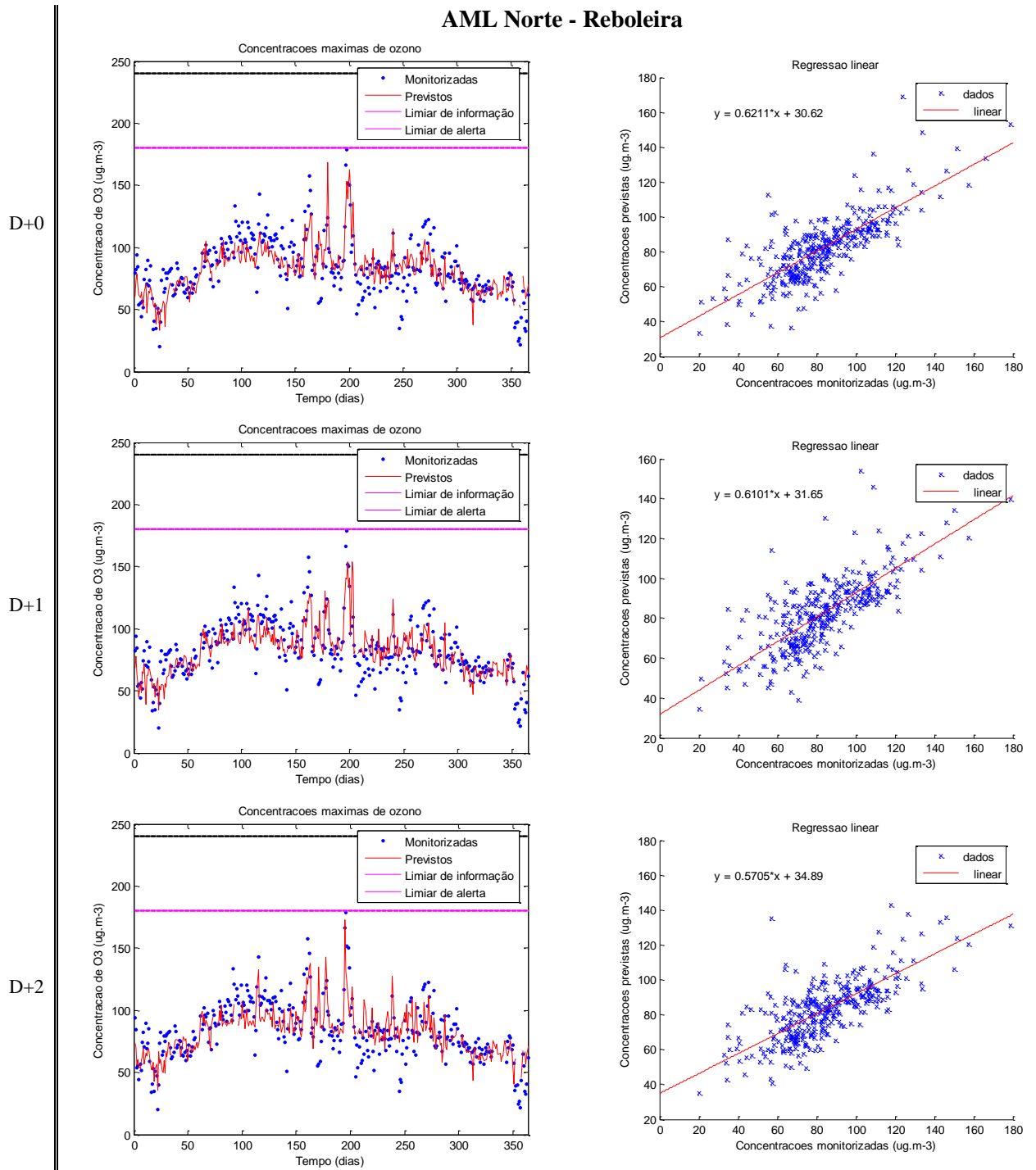


Figura C.19 - Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Reboleira.

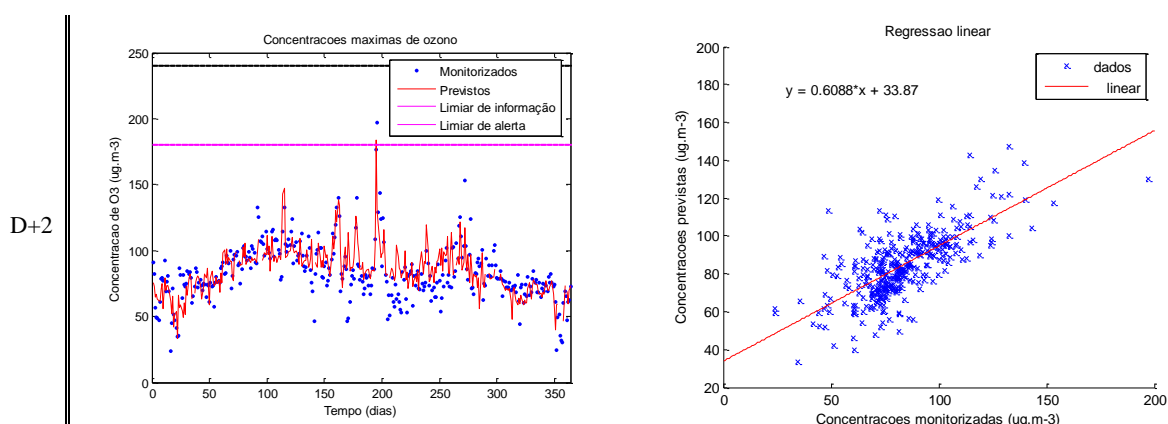


**Figura C.20** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

AML Norte– Quinta do Marquês

**Tabela C.14** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,7273	-6,22	19,27	-0,10	0,87	0,01	0,60	0,89	1,01	0,83
D+1	0,6947	-6,00	20,29	-0,09	0,88	0,01	0,68	0,89	1,01	0,81
D+2	0,6649	-5,37	21,05	-0,08	0,89	0,01	0,68	0,90	1,01	0,80
Média	0,6956	-5,86	20,20	-0,09	0,88	0,01	0,65	0,89	1,01	0,81

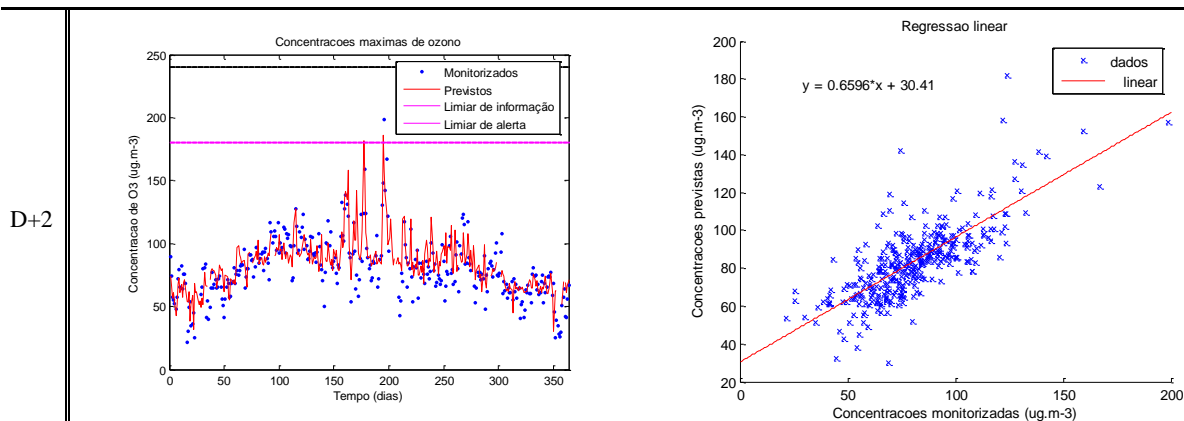


**Figura C.21** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

AML Sul – Laranjeiro

**Tabela C.15** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,7295	-6,93	20,44	-0,12	0,89	0,01	0,65	0,86	1,02	0,83
D+1	0,7075	-7,05	21,23	-0,12	0,89	0,02	0,69	0,86	1,02	0,81
D+2	0,6822	-6,51	21,96	-0,11	0,90	0,01	0,71	0,88	1,02	0,80
Média	0,7064	-6,83	21,21	-0,12	0,89	0,01	0,68	0,87	1,02	0,81

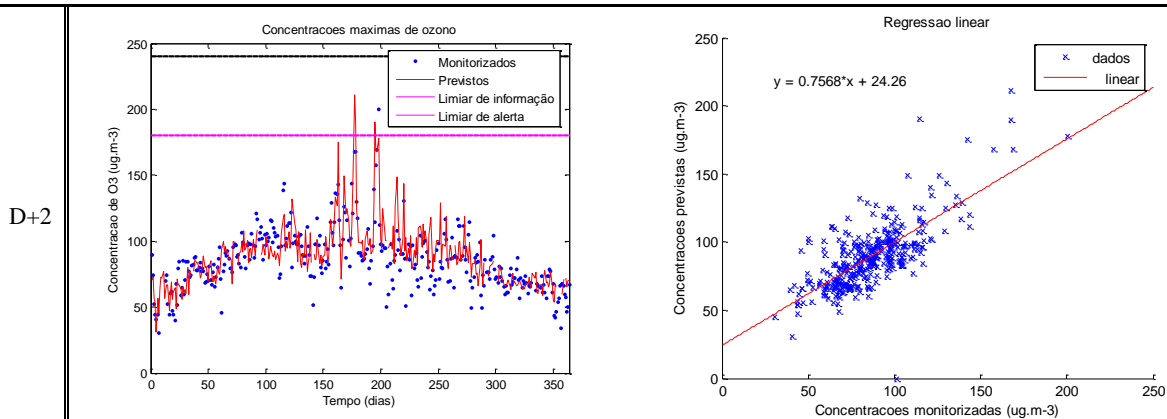


**Figura C.22** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

Setúbal – Camarinha

**Tabela C.16-** Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,6766	-4,48	21,61	-0,07	0,99	0,01	0,82	0,93	1,01	0,81
D+1	0,6637	-4,50	21,98	-0,07	0,98	0,01	0,95	0,91	1,01	0,80
D+2	0,6492	-4,31	22,42	-0,07	0,98	0,01	0,88	0,93	1,01	0,79
Média	0,6632	-4,43	22,01	-0,07	0,98	0,01	0,88	0,92	1,01	0,80

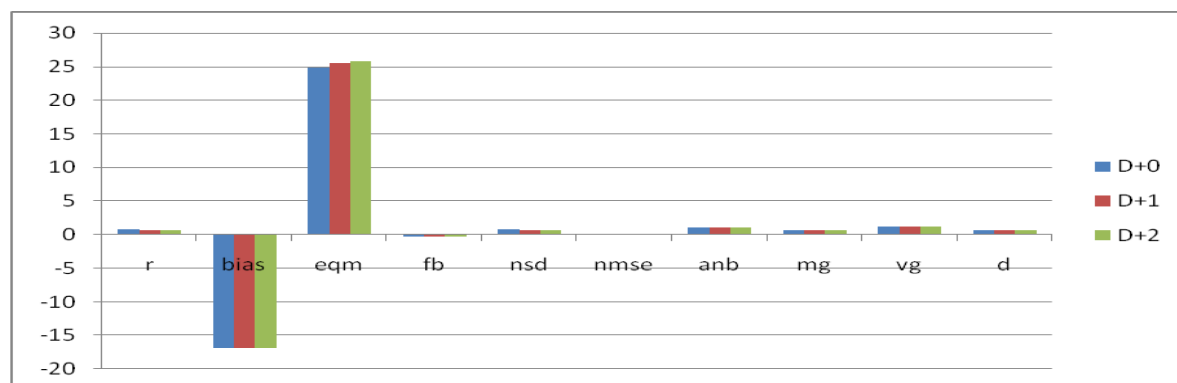


**Figura C.23** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

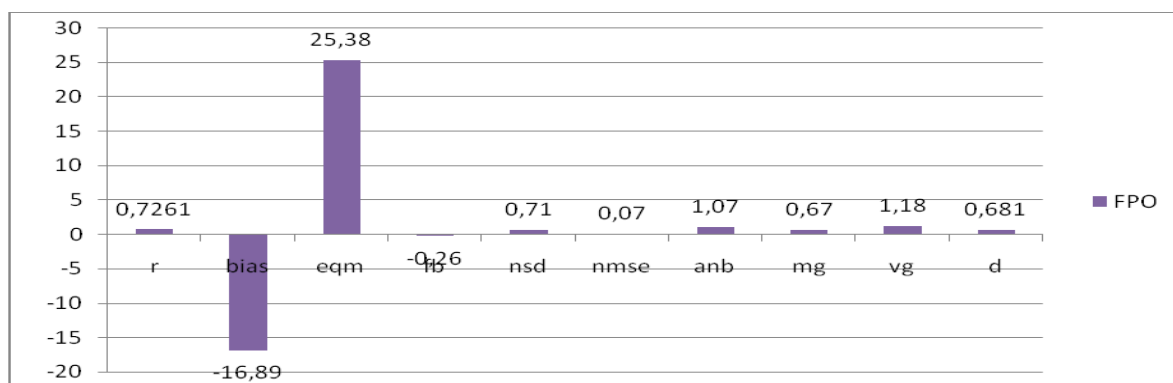
Península de Setúbal/Álcacer do Sal – Fernando Pó

**Tabela C.17** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

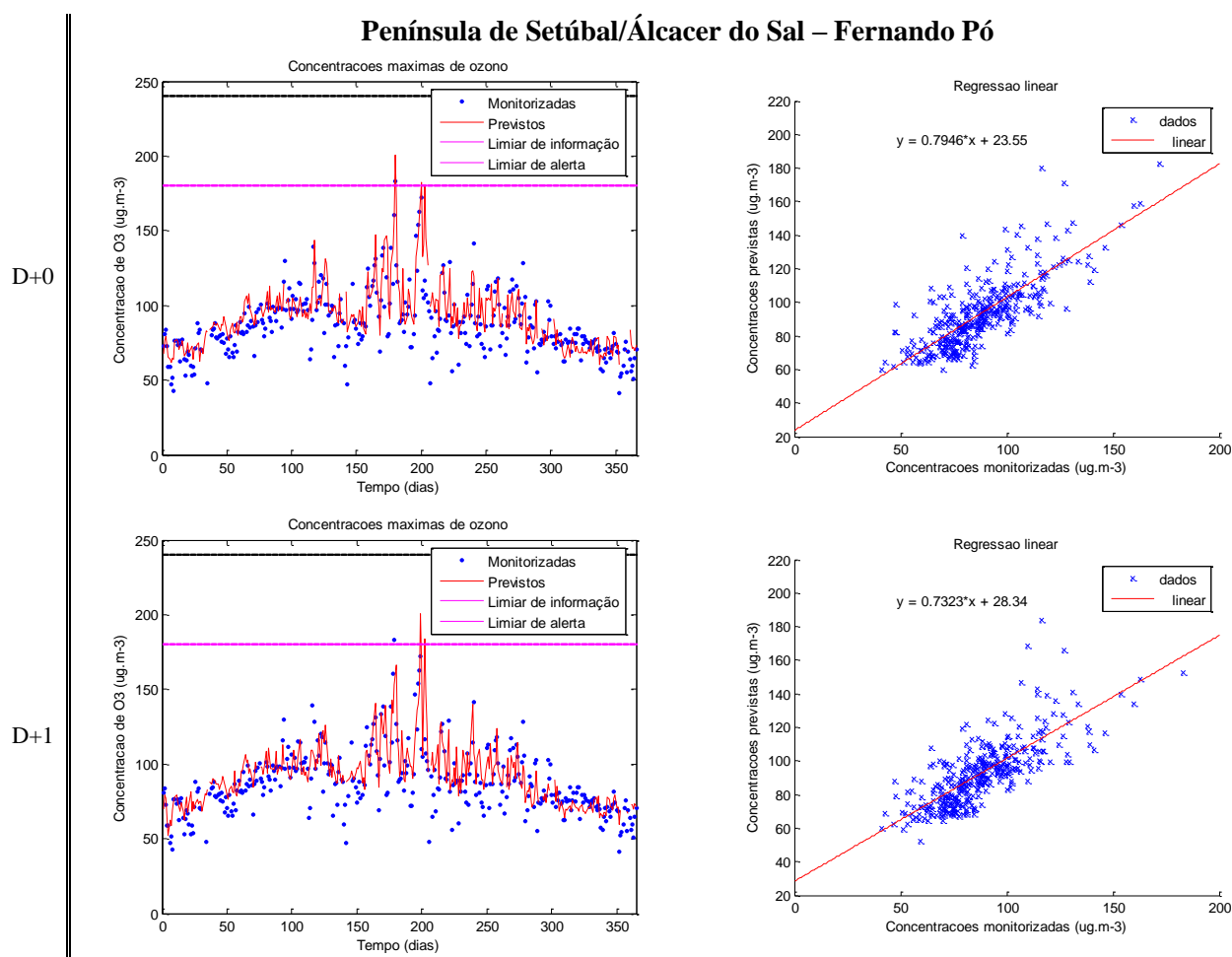
	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,7476	-16,88	24,82	-0,26	0,73	0,07	1,03	0,67	1,17	0,70
D+1	0,7189	-16,90	25,57	-0,26	0,71	0,07	1,08	0,67	1,18	0,68
D+2	0,7119	-16,90	25,74	-0,26	0,70	0,07	1,11	0,67	1,18	0,67
Média	0,7261	-16,89	25,38	-0,26	0,71	0,07	1,07	0,67	1,18	0,68

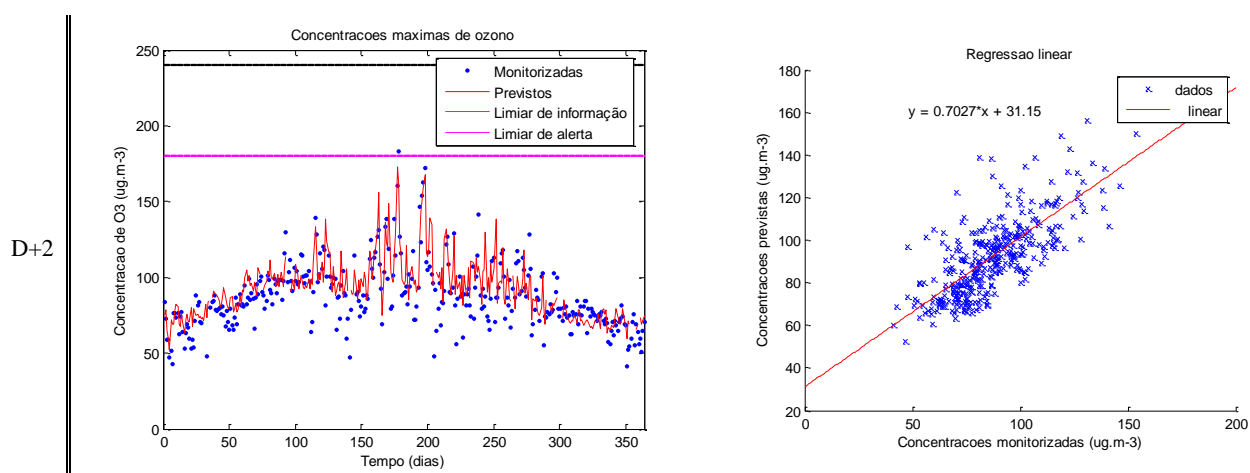






**Figura C.24** - Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Fernando Pó.



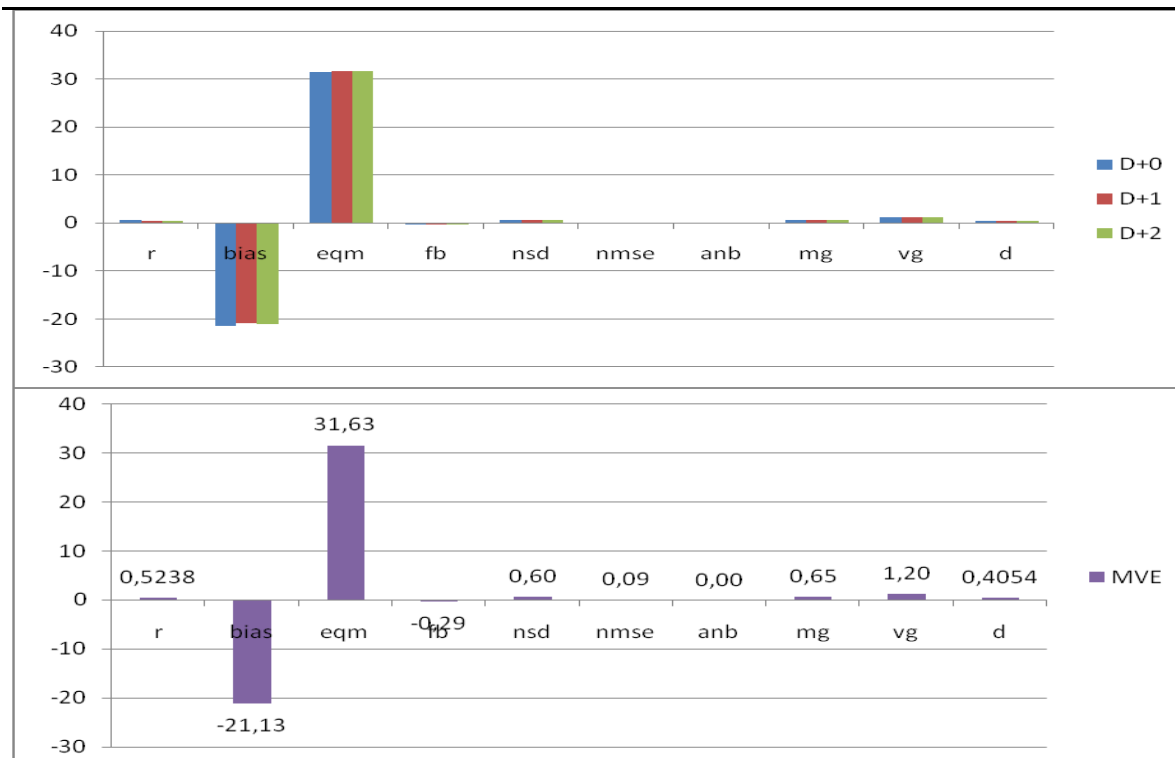


**Figura C.25** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

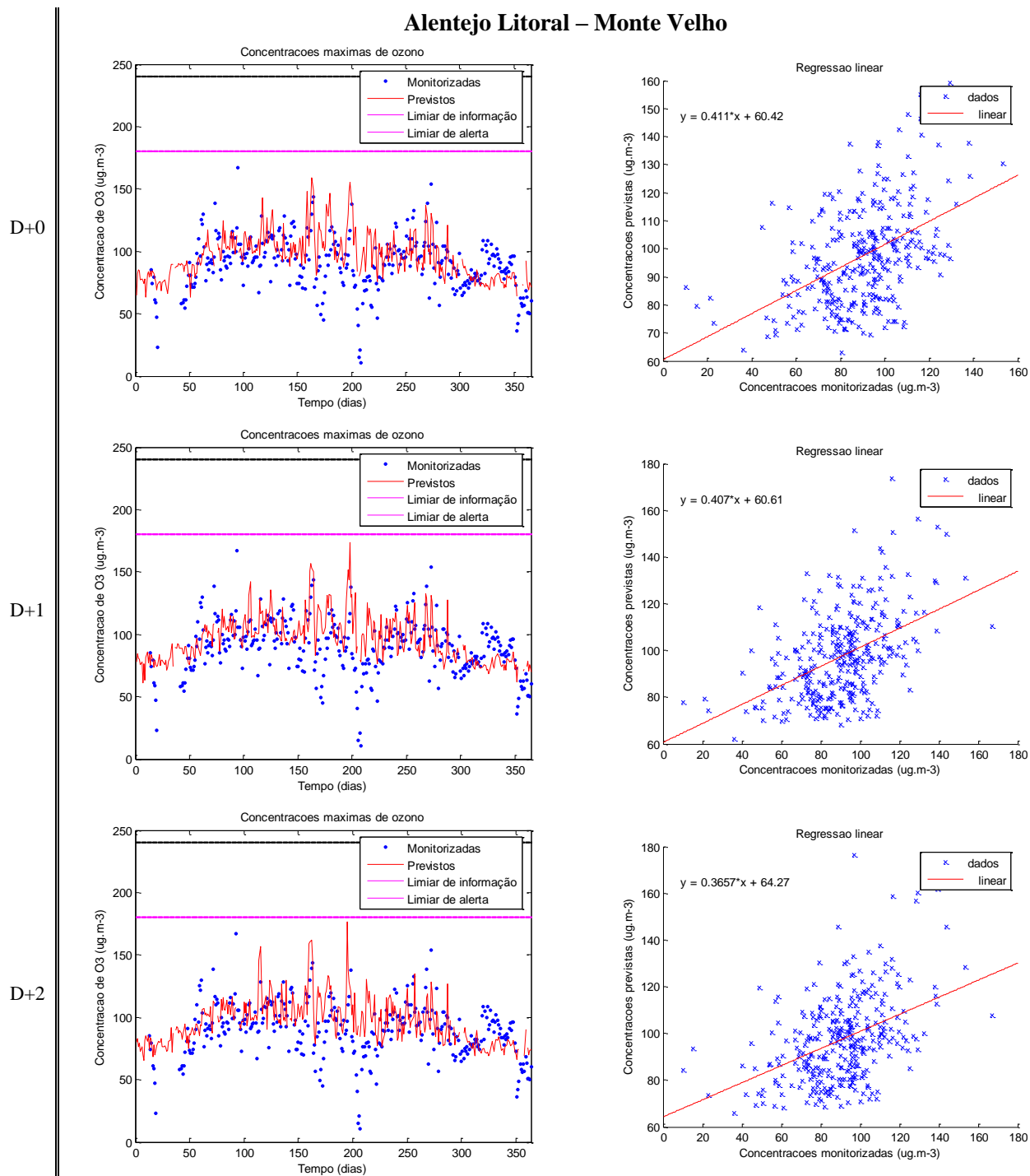
### Alentejo Litoral – Monte Velho

**Tabela C.18** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,7476	-16,88	24,82	-0,26	0,73	0,07	1,03	0,67	1,17	0,70
D+1	0,7189	-16,90	25,57	-0,26	0,71	0,07	1,08	0,67	1,18	0,68
D+2	0,7119	-16,90	25,74	-0,26	0,70	0,07	1,11	0,67	1,18	0,67
Média	0,7261	-16,89	25,38	-0,26	0,71	0,07	1,07	0,67	1,18	0,68



**Figura C.26** - Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Monte Velho.

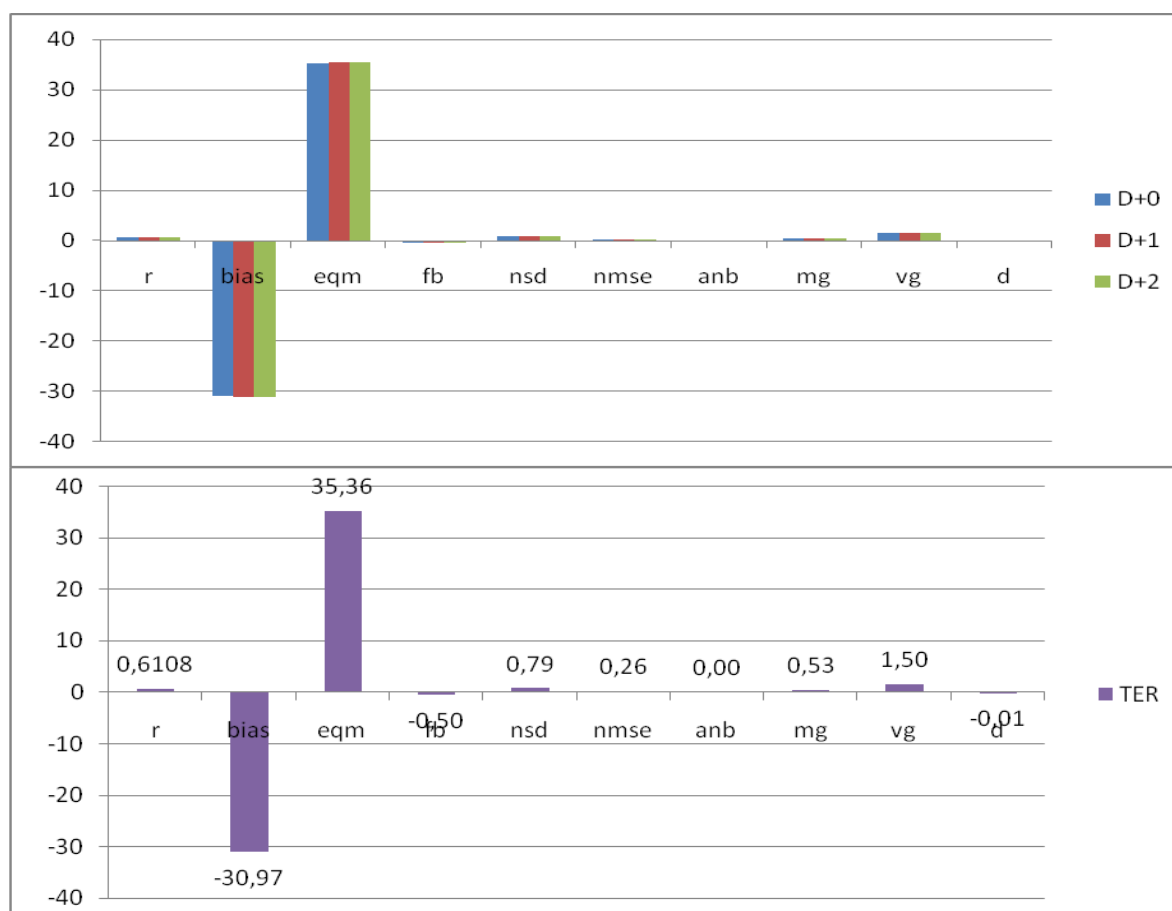


**Figura C.27** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

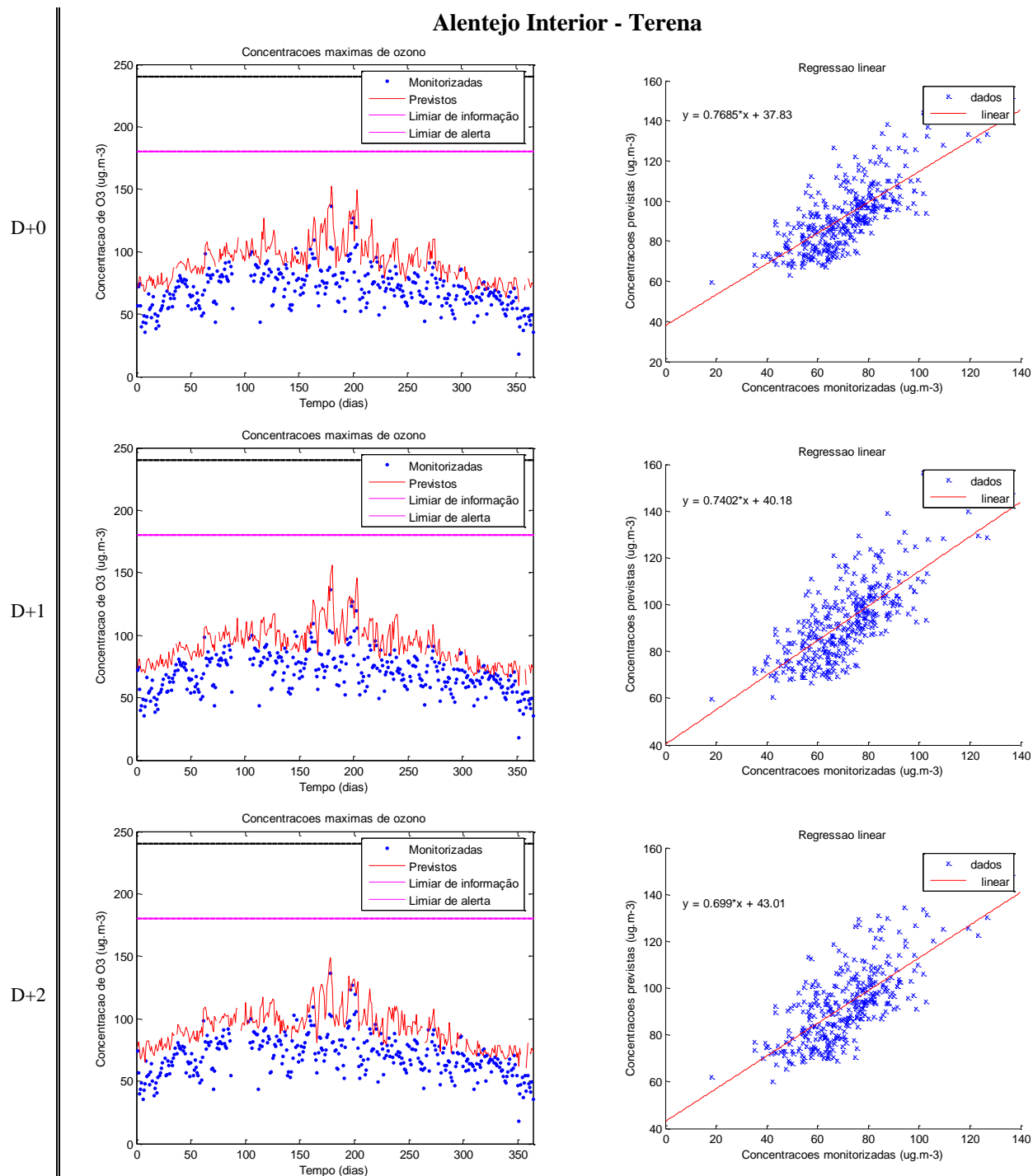
Alentejo Interior - Terena

**Tabela C.19** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,6193	-30,83	35,18	-0,50	0,79	0,26	n.a.	0,53	1,50	0,01
D+1	0,6145	-31,06	35,41	-0,50	0,79	0,27	n.a.	0,53	1,50	-0,01
D+2	0,5986	-31,00	35,49	-0,50	0,78	0,26	n.a.	0,53	1,50	-0,03
Média	0,6108	-30,97	35,36	-0,50	0,79	0,26	n.a.	0,53	1,50	-0,01



**Figura C.28** - Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Terena.



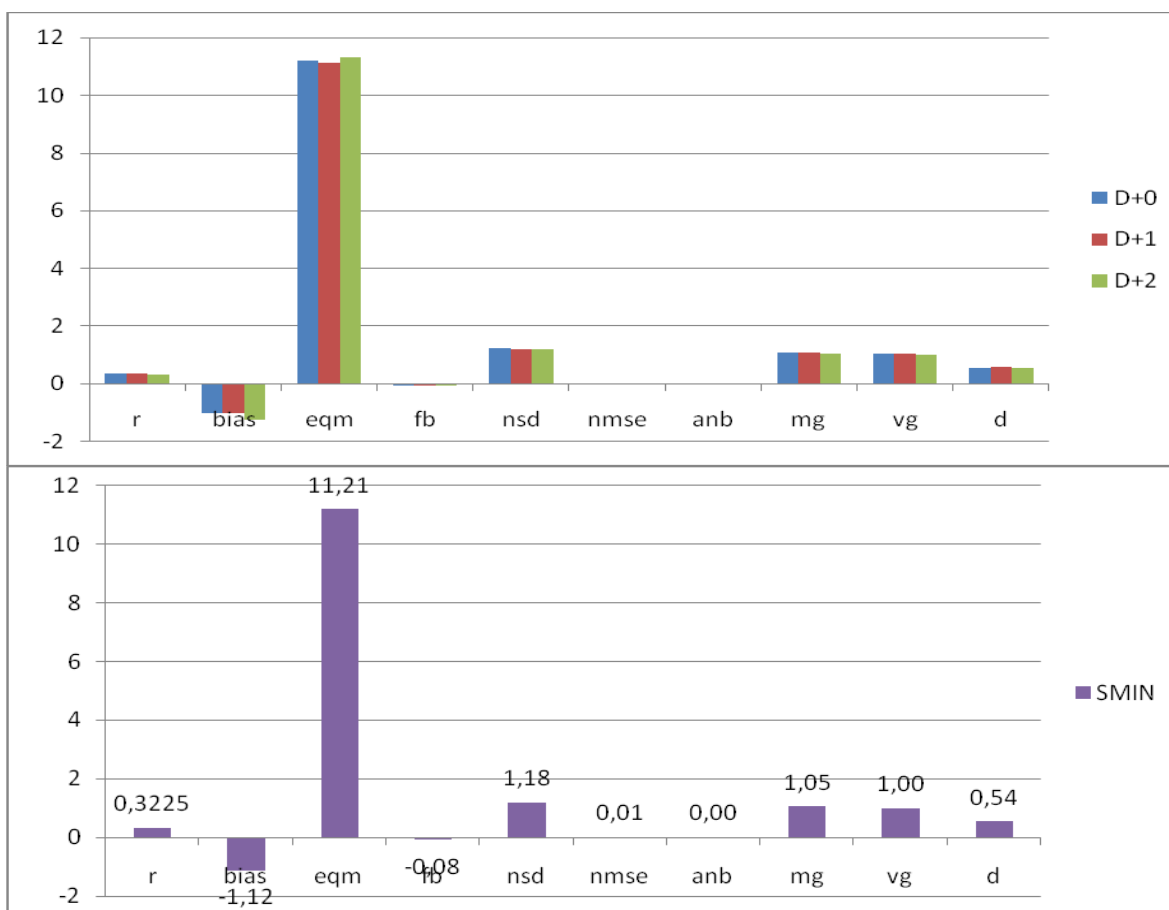
**Figura C.29** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

## Anexo D– Validação do sistema MM5-CHIMERE para as PM<sub>10</sub>.

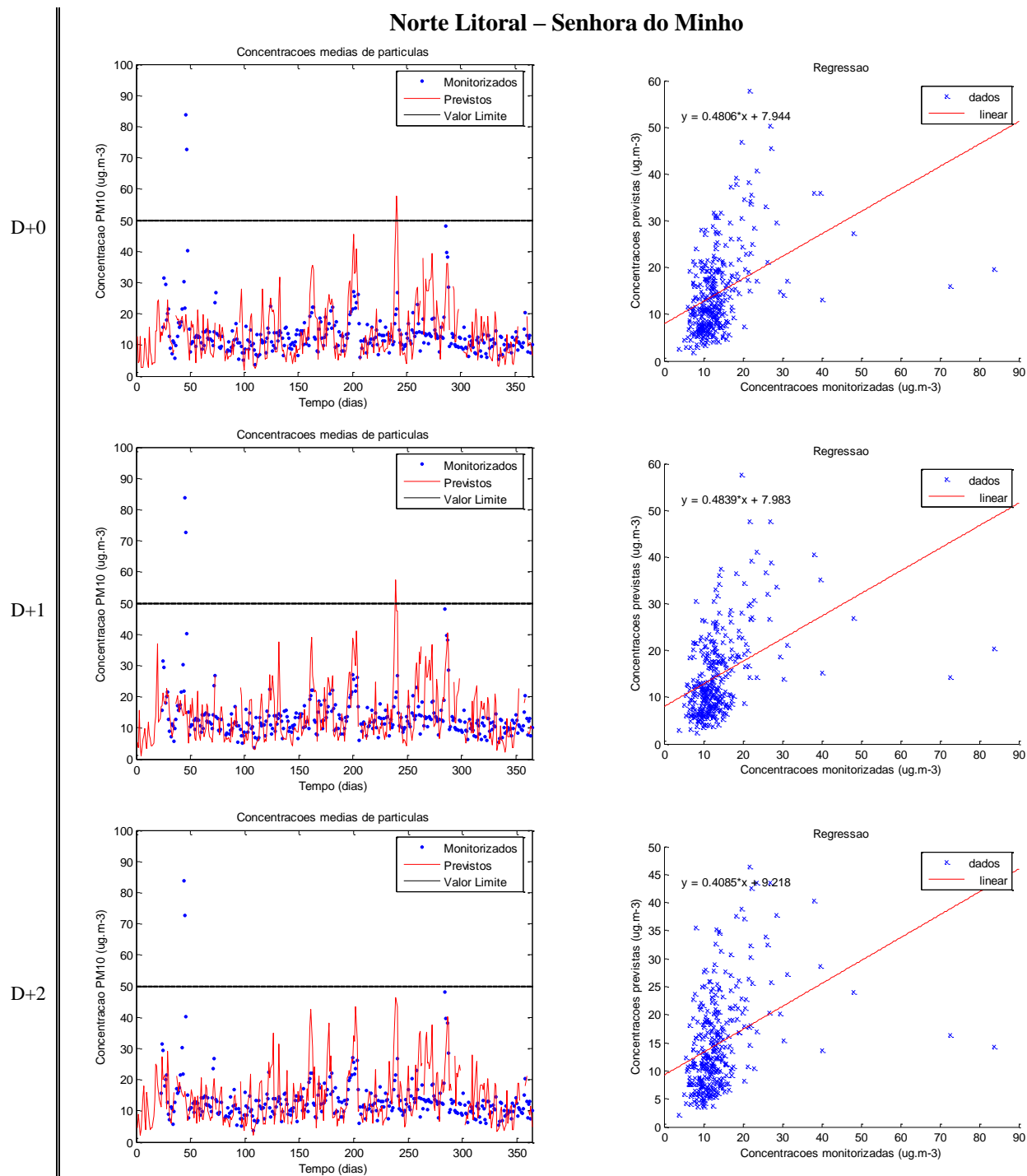
### Norte Litoral – Senhora do Minho

**Tabela D.1** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,3284	-1,04	11,21	-0,07	1,20	0,01	n.a.	1,07	1,00	0,54
D+1	0,3421	-1,04	11,11	-0,07	1,19	0,01	n.a.	1,06	1,00	0,56
D+2	0,2969	-1,27	11,32	-0,09	1,16	0,01	n.a.	1,03	1,00	0,52
Média	0,3225	-1,12	11,21	-0,08	1,18	0,01	n.a.	1,05	1,00	0,54



**Figura D.1** - Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Senhora do Minho.

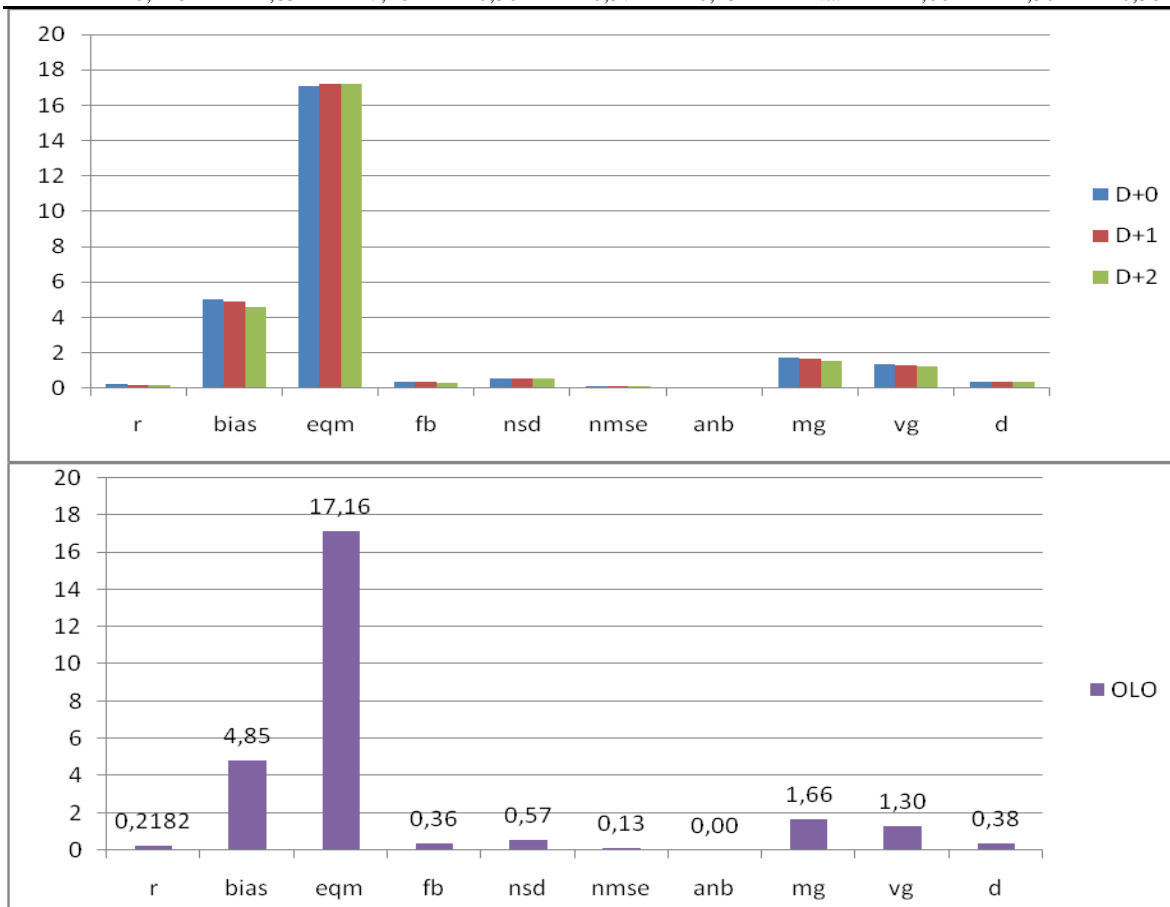


**Figura D.2** – Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

Norte Interior – Lamas de Olo

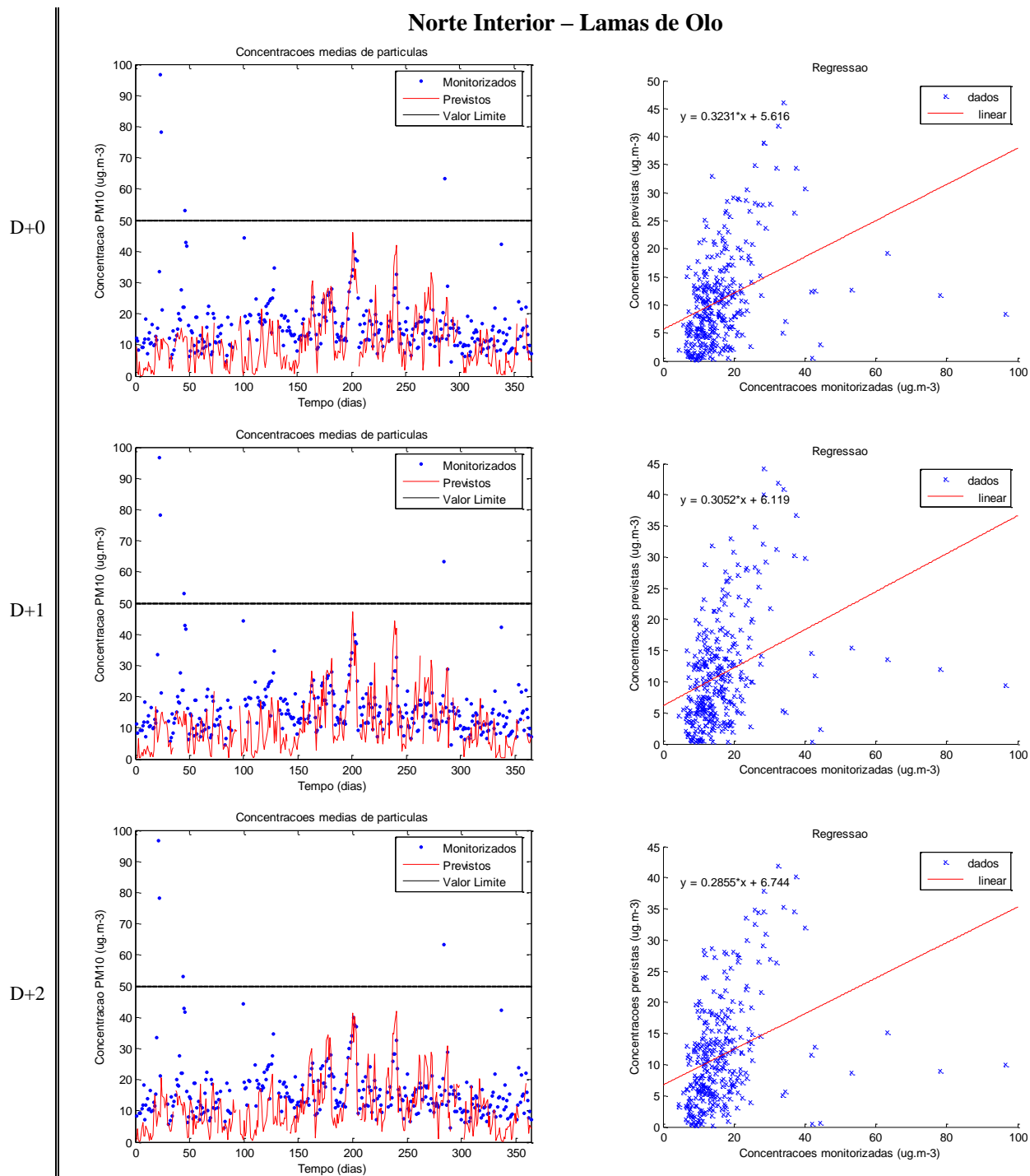
**Tabela D.2** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,2335	5,04	17,06	0,38	0,57	0,15	n.a.	1,72	1,34	0,38
D+1	0,2142	4,90	17,22	0,37	0,58	0,14	n.a.	1,68	1,31	0,37
D+2	0,2068	4,60	17,21	0,34	0,57	0,12	n.a.	1,57	1,23	0,37
Média	0,2182	4,85	17,16	0,36	0,57	0,13	n.a.	1,66	1,30	0,38



**Figura D.3** - Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Lamas de Olo.



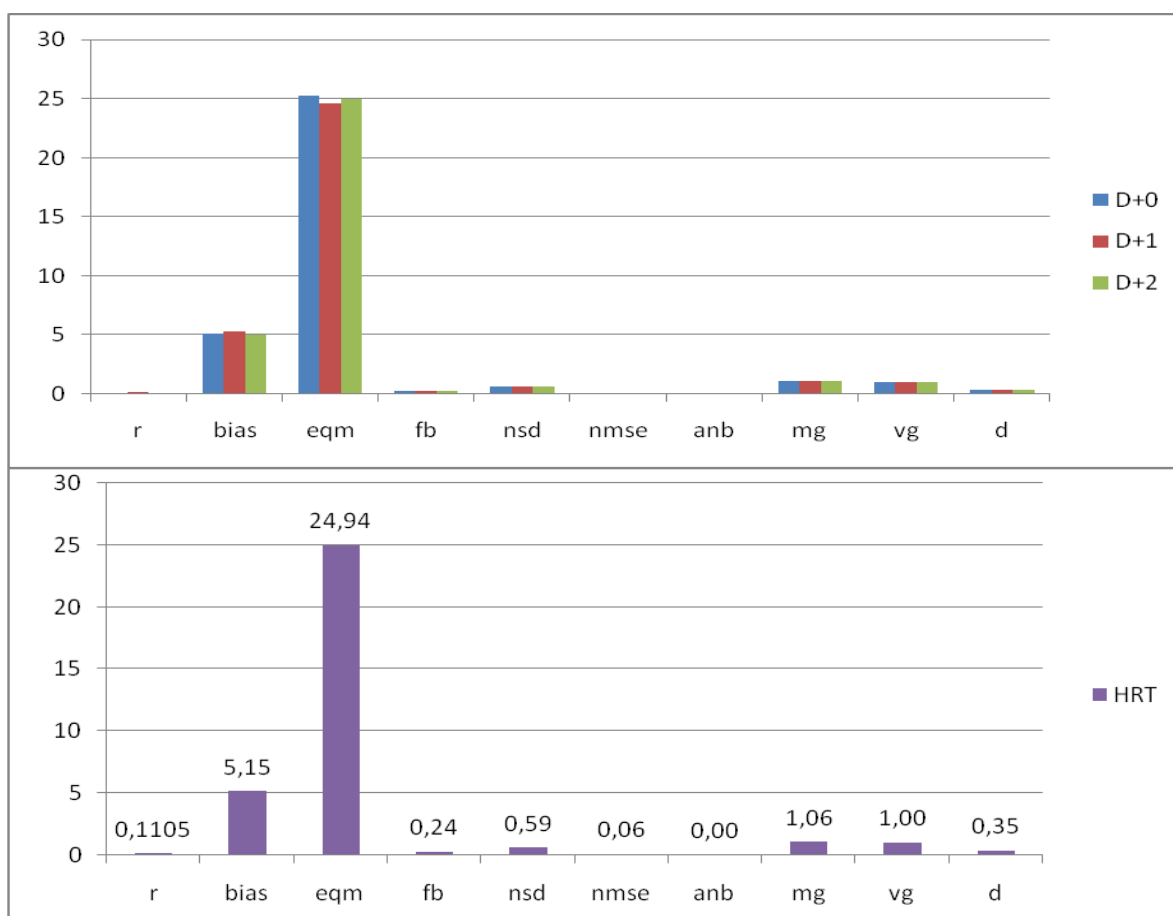


**Figura D.4-** Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

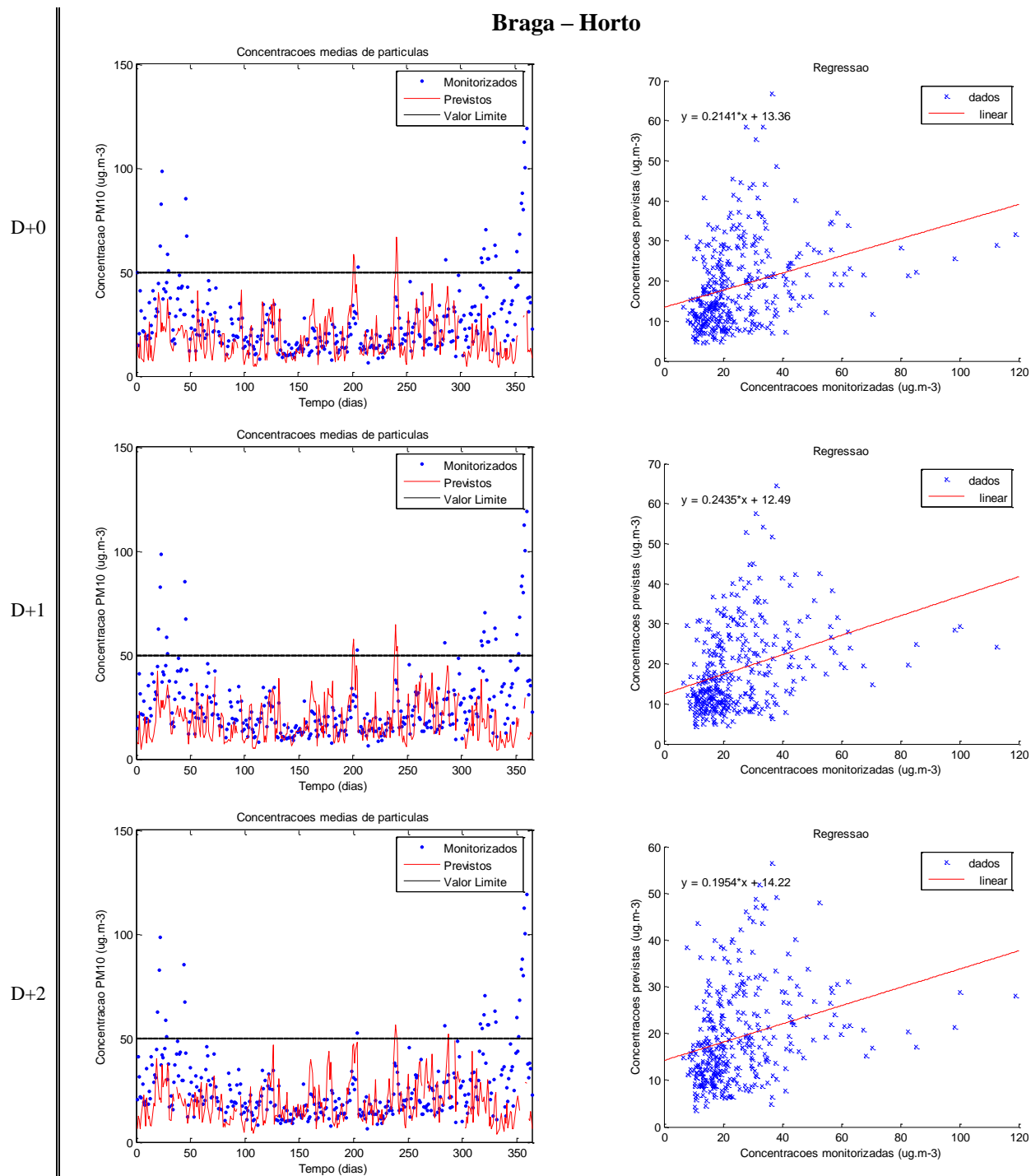
Braga – Horto

**Tabela D.3** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,105	5,12	25,28	0,24	0,60	0,06	n.a.	1,06	1,00	0,35
D+1	0,130	5,29	24,55	0,25	0,59	0,06	n.a.	1,07	1,00	0,36
D+2	0,097	5,03	24,99	0,23	0,59	0,06	n.a.	1,05	1,00	0,35
Média	0,111	5,15	24,94	0,24	0,59	0,06	n.a.	1,06	1,00	0,35



**Figura D.5** - Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Horta.

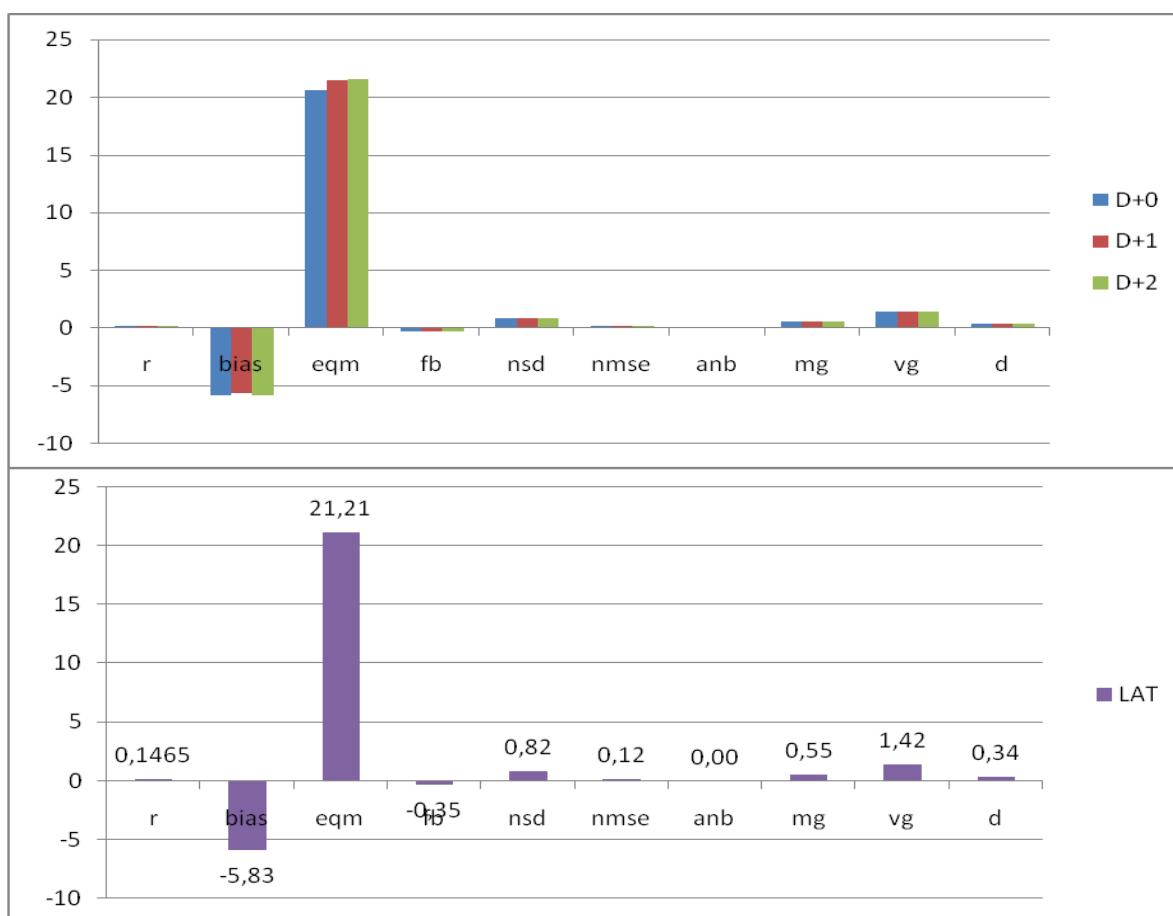


**Figura D.6** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

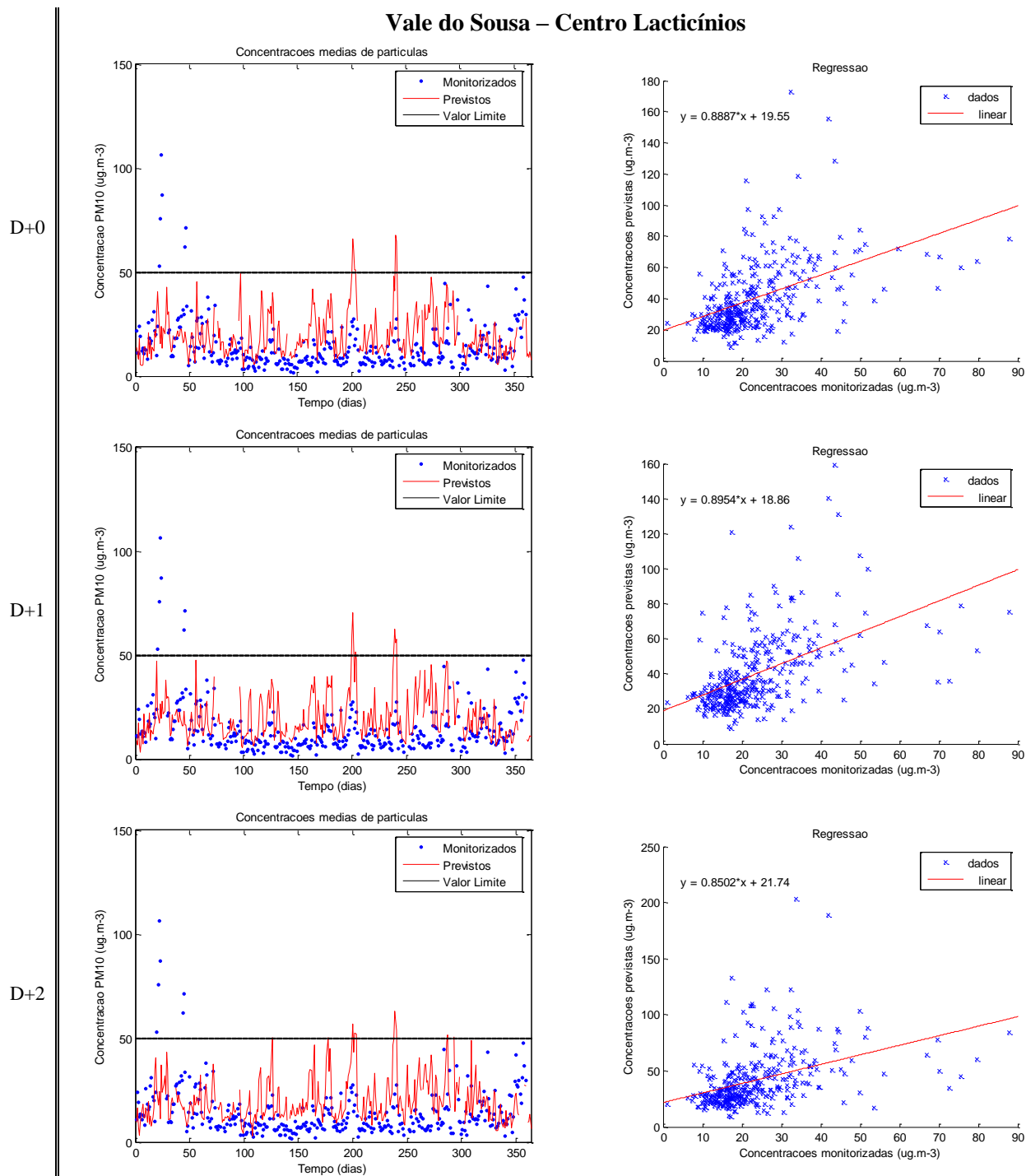
Vale do Sousa – Centro Lacticínios

**Tabela D.4** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,152	-5,86	20,60	-0,35	0,84	0,13	n.a.	0,55	1,43	0,35
D+1	0,150	-5,70	21,43	-0,34	0,81	0,12	n.a.	0,56	1,40	0,34
D+2	0,137	-5,93	21,59	-0,35	0,81	0,13	n.a.	0,55	1,42	0,33
Média	0,147	-5,83	21,21	-0,35	0,82	0,12	n.a.	0,55	1,42	0,34



**Figura D.5** - Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Centro Lacticínios.



**Figura D.6** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

Porto Litoral – Ermesinde

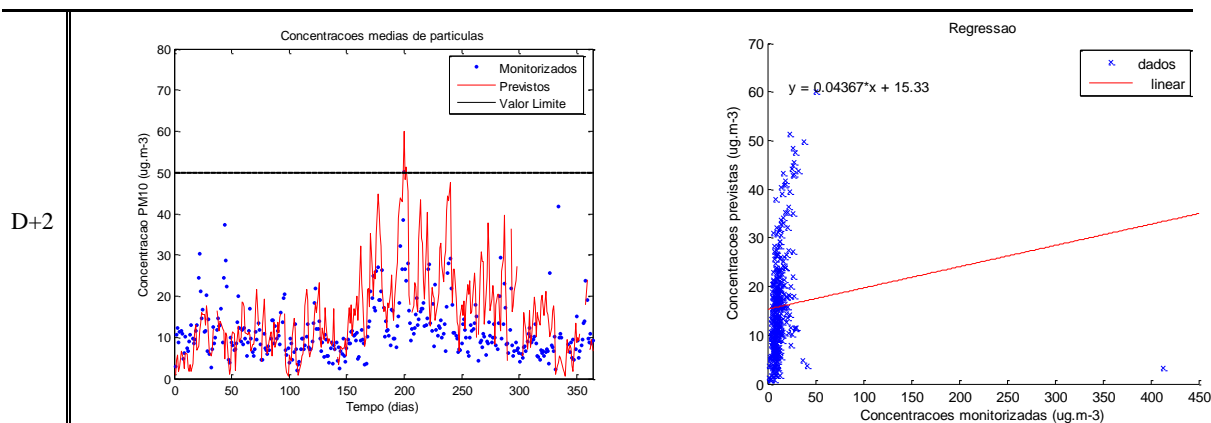
**Tabela D.5** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,319	-14,88	35,34	-0,41	1,79	0,18	n.a.	0,69	1,14	0,39
D+1	0,302	-14,52	35,50	-0,41	1,79	0,17	n.a.	0,70	1,13	0,38
D+2	0,243	-15,04	38,93	-0,42	1,96	0,18	n.a.	0,70	1,14	0,31
Média	0,288	-14,81	36,59	-0,41	1,85	0,18	n.a.	0,70	1,14	0,36

Centro Interior – Fundão

**Tabela D.6** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,220	-3,92	17,31	-0,28	0,81	0,08	n.a.	0,83	1,03	0,40
D+1	0,223	-4,04	17,42	-0,29	0,82	0,09	n.a.	0,83	1,04	0,40
D+2	0,216	-4,03	17,26	-0,29	0,79	0,08	n.a.	0,80	1,05	0,39
Média	0,220	-4,00	17,33	-0,29	0,81	0,08	n.a.	0,82	1,04	0,40



**Figura D.7** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

Centro Interior – Fornelo do Monte

**Tabela D.7** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,486	-3,53	12,05	-0,28	1,05	0,08	n.a.	0,76	1,08	0,65
D+1	0,478	-3,76	12,15	-0,30	1,04	0,09	n.a.	0,74	1,09	0,64
D+2	0,442	-3,76	12,41	-0,30	1,01	0,09	n.a.	0,74	1,10	0,62
Média	0,469	-3,68	12,20	-0,29	1,03	0,09	n.a.	0,75	1,09	0,64

D+2

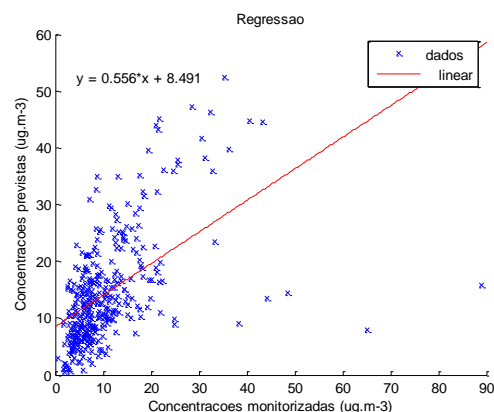
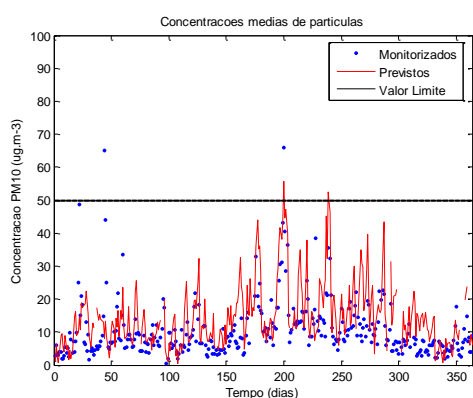


Figura D.8 - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

### Centro Litoral – Ervedeira

Tabela D.8 - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,180	-2,07	17,06	-0,13	1,04	0,02	n.a.	0,93	1,01	0,43
D+1	0,196	-2,08	16,90	-0,13	1,04	0,02	n.a.	0,93	1,00	0,45
D+2	0,191	-2,35	16,35	-0,15	1,12	0,02	n.a.	0,91	1,01	0,45
Média	0,189	-2,16	16,77	-0,14	1,07	0,02	n.a.	0,93	1,01	0,44

D+2

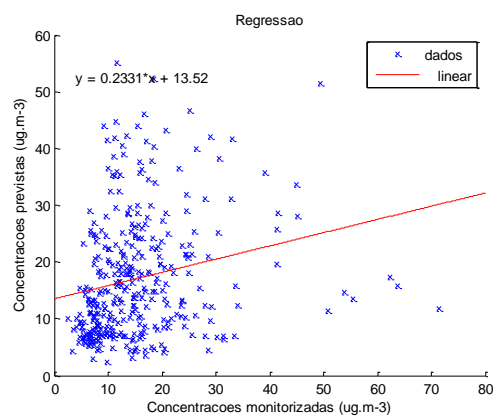
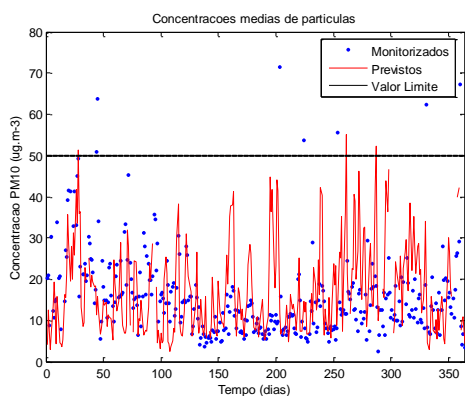
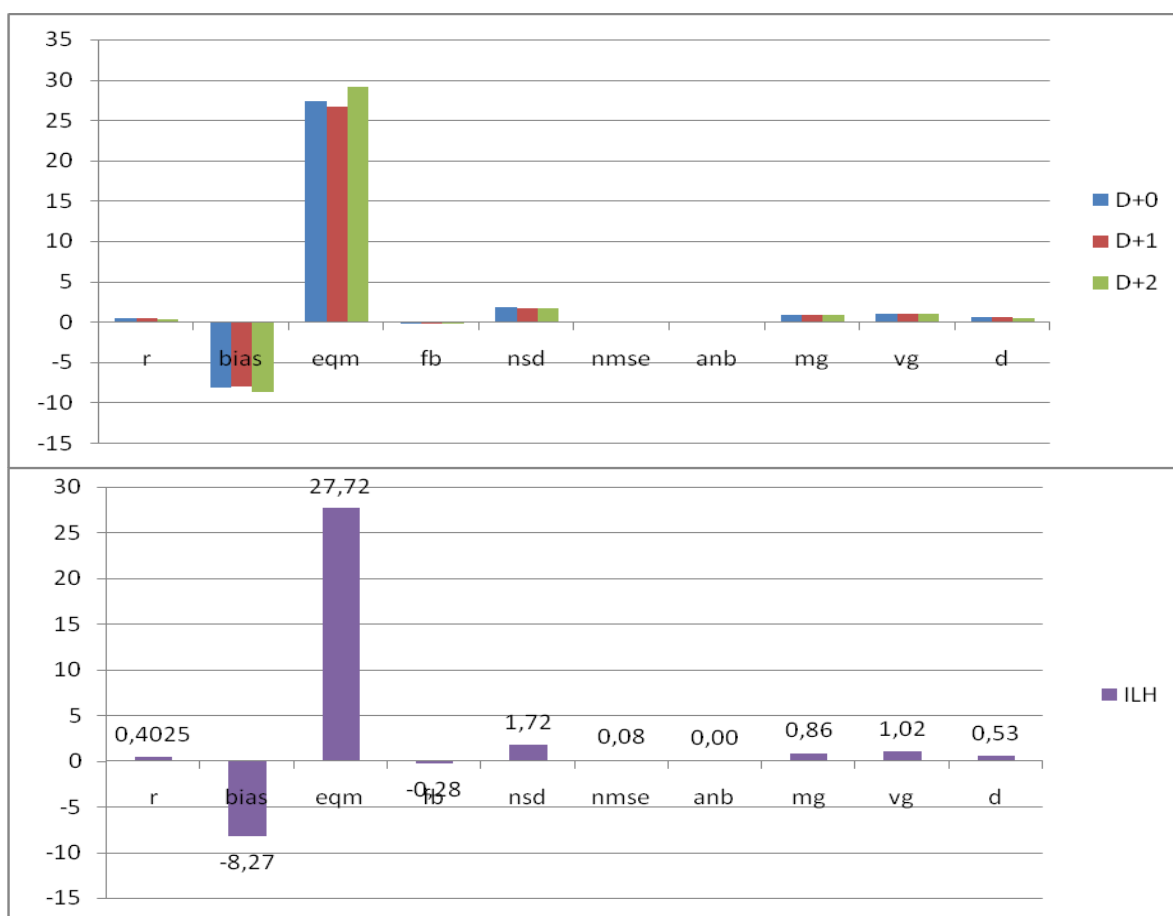


Figura D.9 - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

Aveiro/Ílhavo – Ílhavo

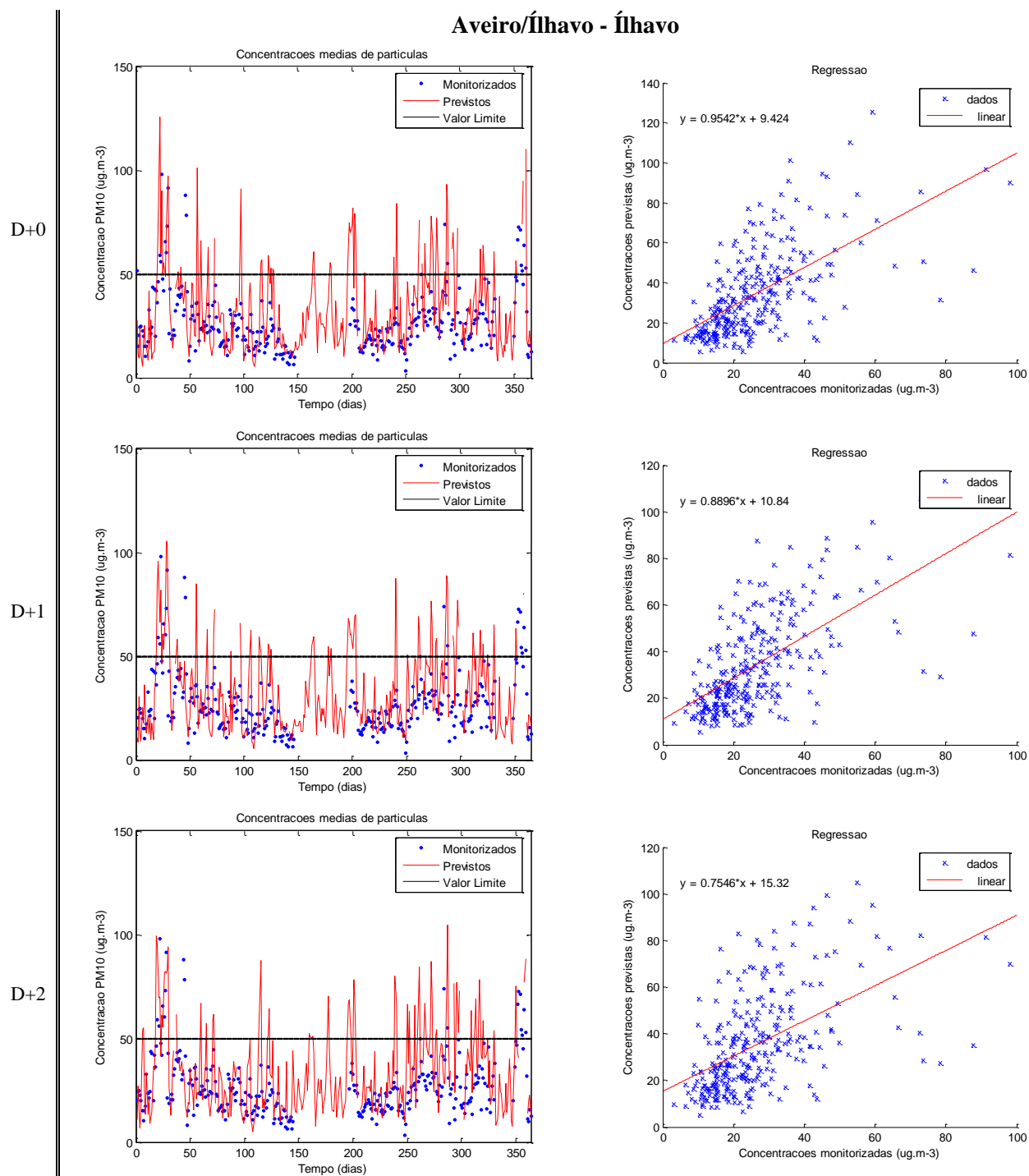
**Tabela D.9** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,427	-8,16	27,36	-0,28	1,75	0,08	n.a.	0,87	1,02	0,54
D+1	0,427	-8,01	26,72	-0,27	1,68	0,07	n.a.	0,86	1,02	0,55
D+2	0,354	-8,65	29,09	-0,29	1,73	0,08	n.a.	0,85	1,03	0,49
Média	0,403	-8,27	27,72	-0,28	1,72	0,08	n.a.	0,86	1,02	0,53



**Figura D.10** - Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Ílhavo.



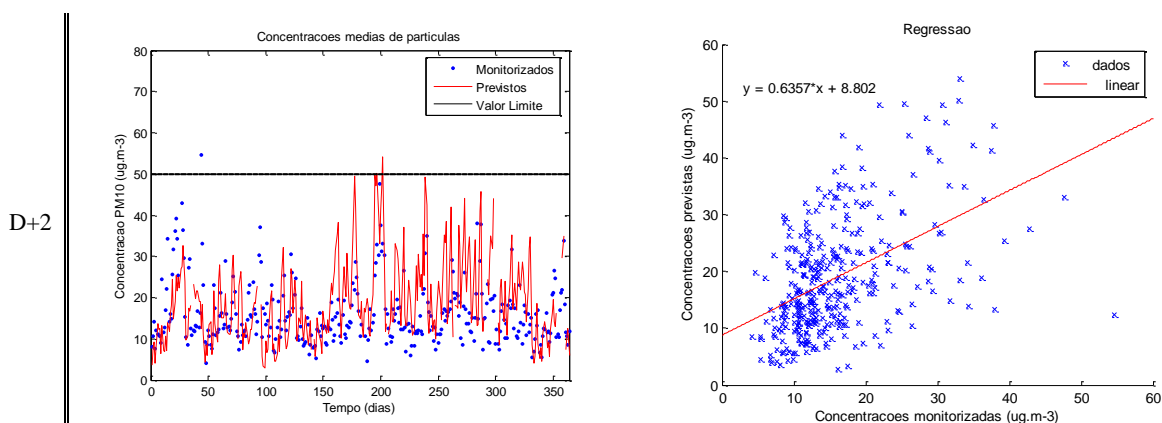


**Figura D.11** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

Vale do Tejo e Oeste– Chamusca

**Tabela D.10-** Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,462	-3,19	12,12	-0,18	1,34	0,03	n.a.	0,90	1,01	0,64
D+1	0,458	-3,23	12,33	-0,19	1,36	0,03	n.a.	0,91	1,01	0,63
D+2	0,402	-3,01	12,40	-0,17	1,29	0,03	n.a.	0,91	1,01	0,60
Média	0,441	-3,14	12,28	-0,18	1,33	0,03	n.a.	0,90	1,01	0,63

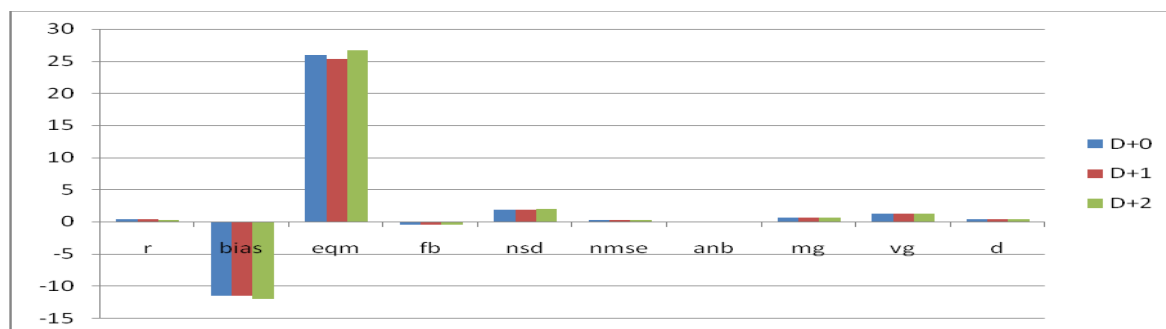


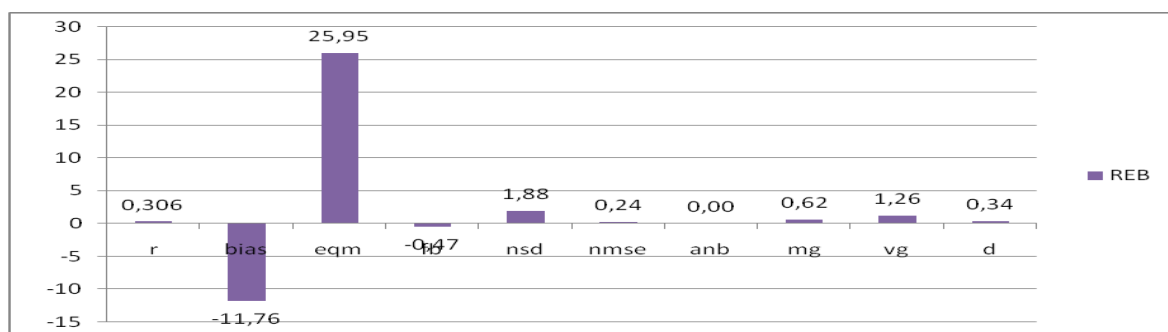
**Figura D.12 -** Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

AML Norte– Reboleira

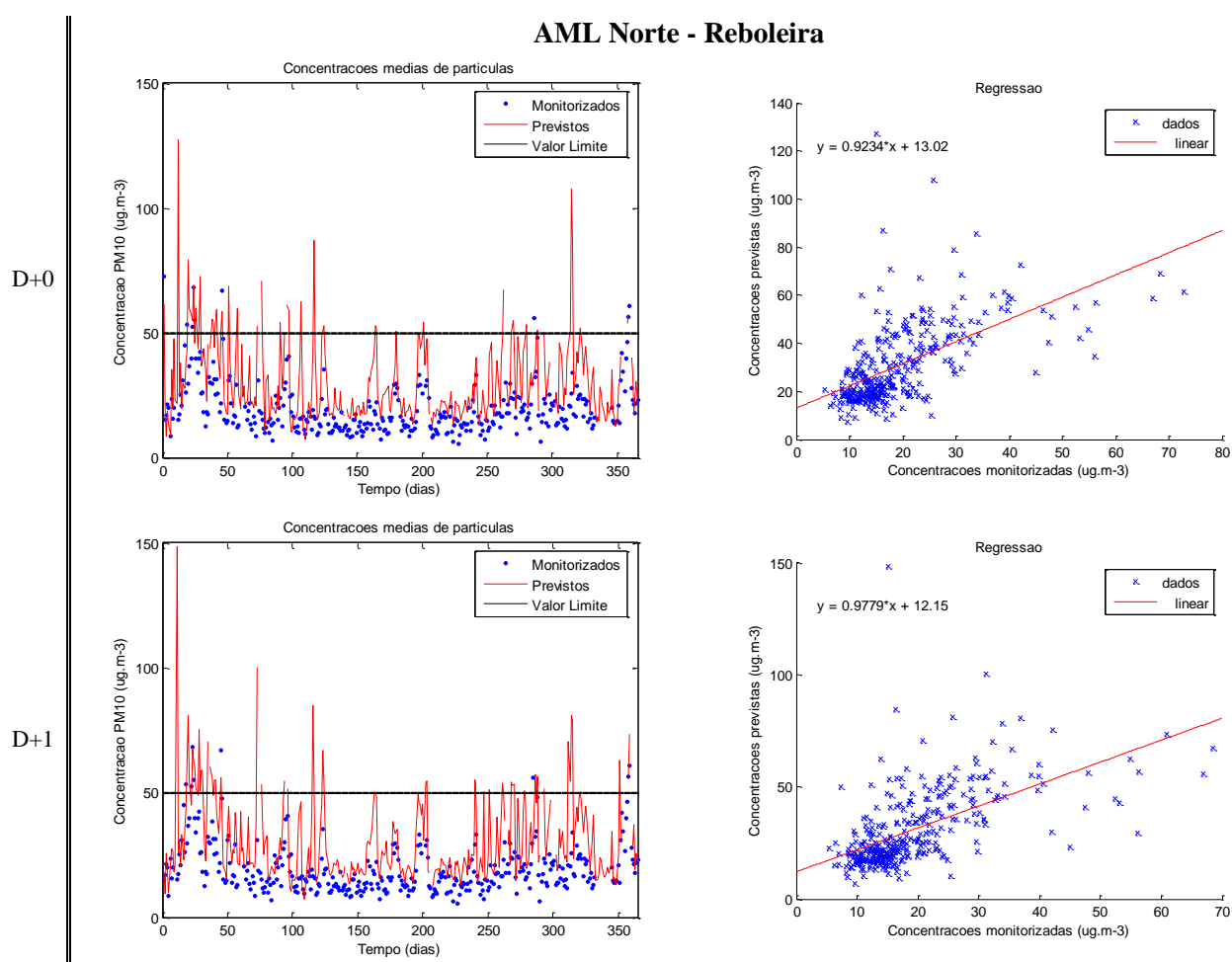
**Tabela D.11 -** Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

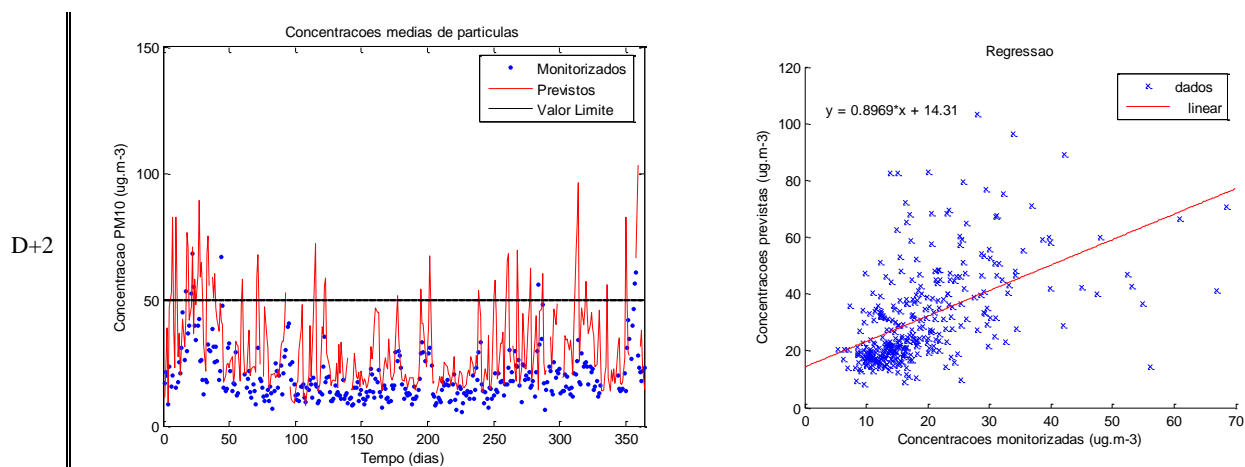
	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,325	-11,59	25,96	-0,47	1,87	0,23	n.a.	0,62	1,26	0,36
D+1	0,316	-11,59	25,27	-0,47	1,84	0,23	n.a.	0,62	1,26	0,35
D+2	0,277	-12,10	26,62	-0,48	1,93	0,25	n.a.	0,62	1,26	0,31
Média	0,306	-11,76	25,95	-0,47	1,88	0,24	n.a.	0,62	1,26	0,34





**Figura D.13** - Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Reboleira.





**Figura D.14** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

### AML Norte– Quinta do Marquês

**Tabela D.12** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,350	-3,14	21,55	-0,13	1,83	0,02	n.a.	1,00	1,00	0,51
D+1	0,337	-3,44	22,08	-0,14	1,89	0,02	n.a.	0,99	1,00	0,49
D+2	0,278	-4,17	23,25	-0,17	1,92	0,03	n.a.	0,98	1,00	0,45
Média	0,321	-3,58	22,29	-0,15	1,88	0,02	n.a.	0,99	1,00	0,48

### AML Sul – Laranjeiro

**Tabela D.13** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,295	-17,21	37,19	-0,54	2,24	0,32	n.a.	0,59	1,33	0,26
D+1	0,295	-16,58	34,71	-0,53	2,09	0,30	n.a.	0,59	1,31	0,28
D+2	0,238	-18,42	41,69	-0,57	2,53	0,35	n.a.	0,59	1,32	0,20
Média	0,276	-17,40	37,86	-0,55	2,29	0,32	n.a.	0,59	1,32	0,25

### Setúbal – Camarinha

**Tabela D.14** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,3308	-5,67	20,52	-0,21	1,38	0,05	n.a.	0,82	1,04	0,51
D+1	0,3188	-4,97	19,41	-0,19	1,27	0,04	n.a.	0,84	1,03	0,52
D+2	0,2829	-5,61	21,44	-0,21	1,41	0,05	n.a.	0,84	1,03	0,48
Média	0,3108	-5,42	20,46	-0,21	1,35	0,04	n.a.	0,83	1,03	0,50

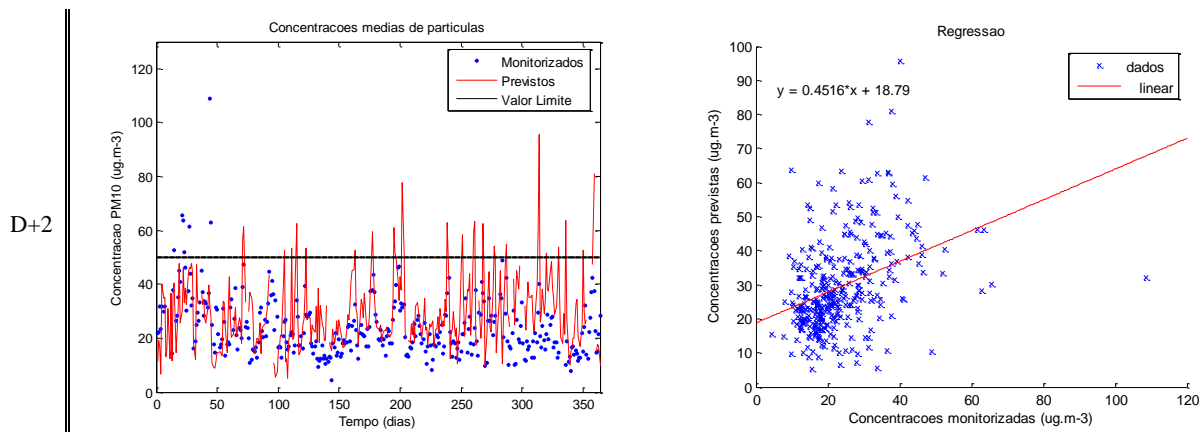
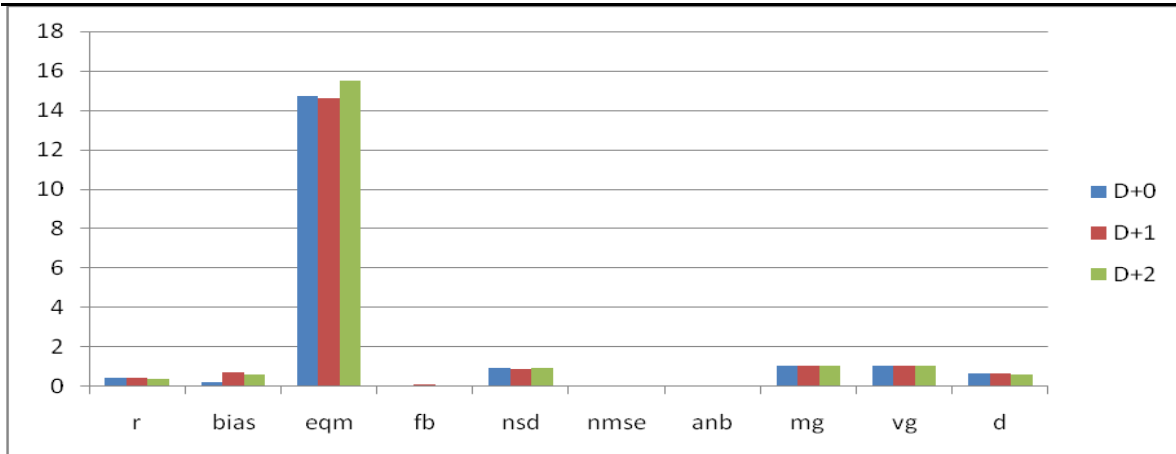


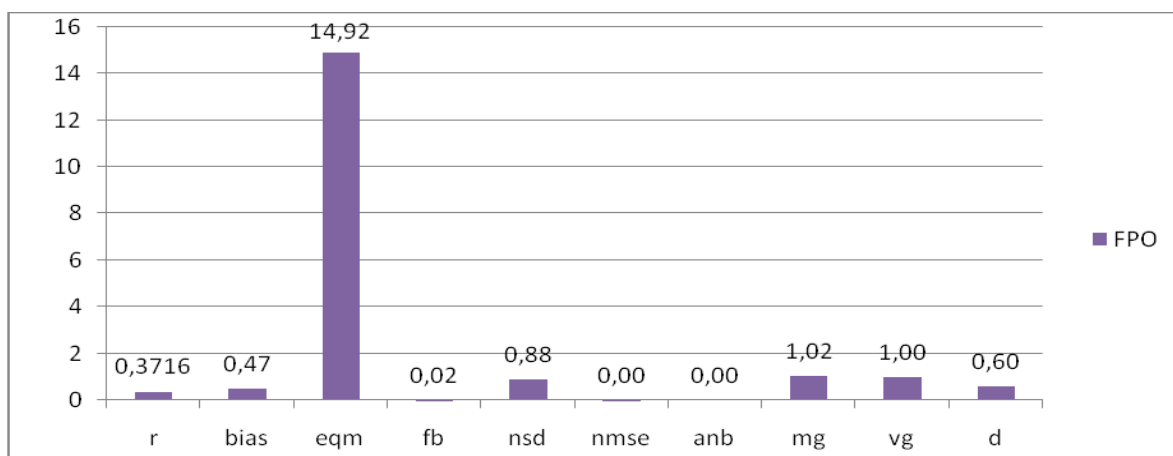
Figura D.15 - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

Península de Setúbal/Álcacer do Sal – Fernando Pó

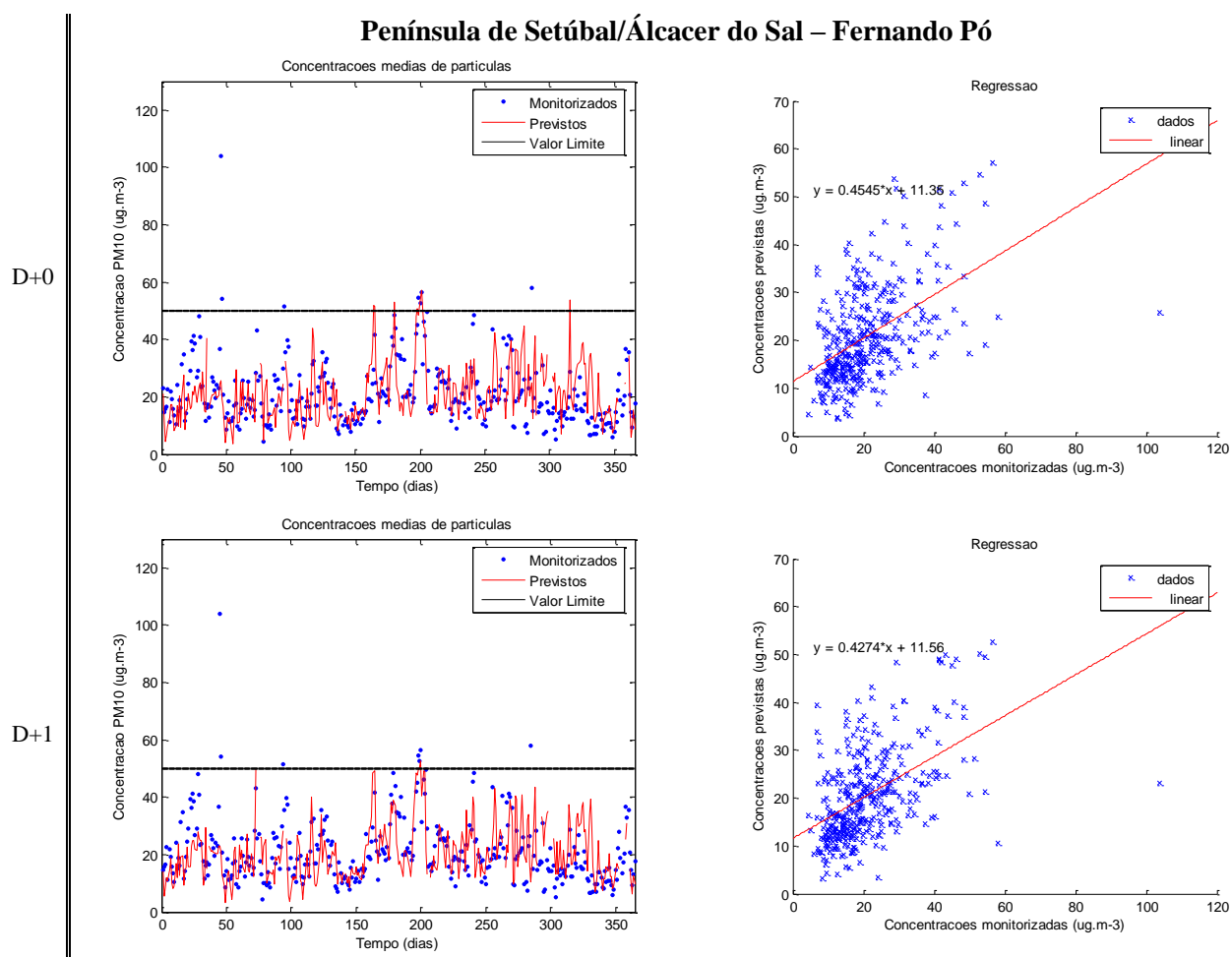
Tabela D.15 - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

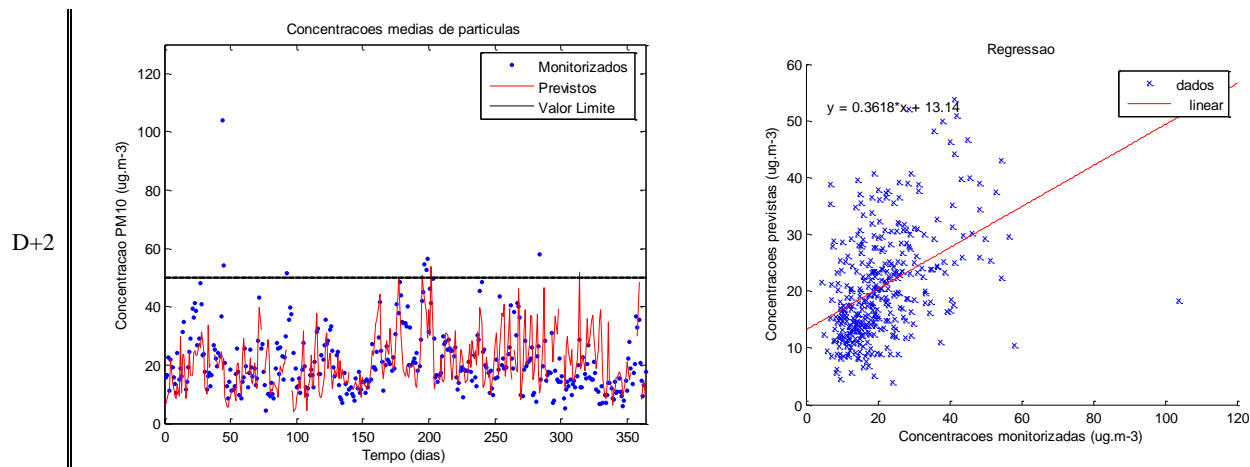
	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,398	0,17	14,72	0,01	0,91	0,00	n.a.	1,01	1,00	0,62
D+1	0,392	0,70	14,58	0,03	0,85	0,00	n.a.	1,03	1,00	0,62
D+2	0,324	0,56	15,47	0,03	0,87	0,00	n.a.	1,03	1,00	0,57
Média	0,372	0,47	14,92	0,02	0,88	0,00	n.a.	1,02	1,00	0,60





**Figura D.16** - Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Fernando Pó.



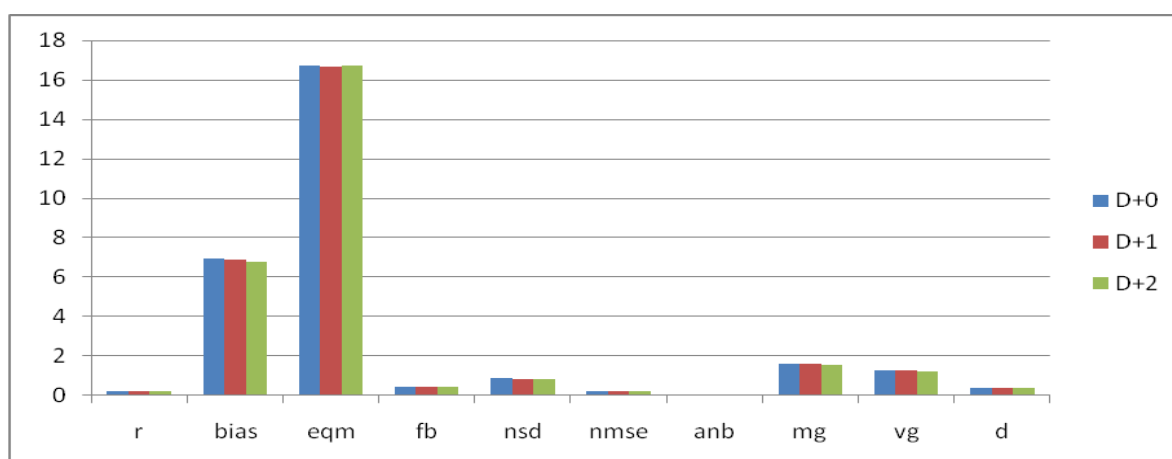


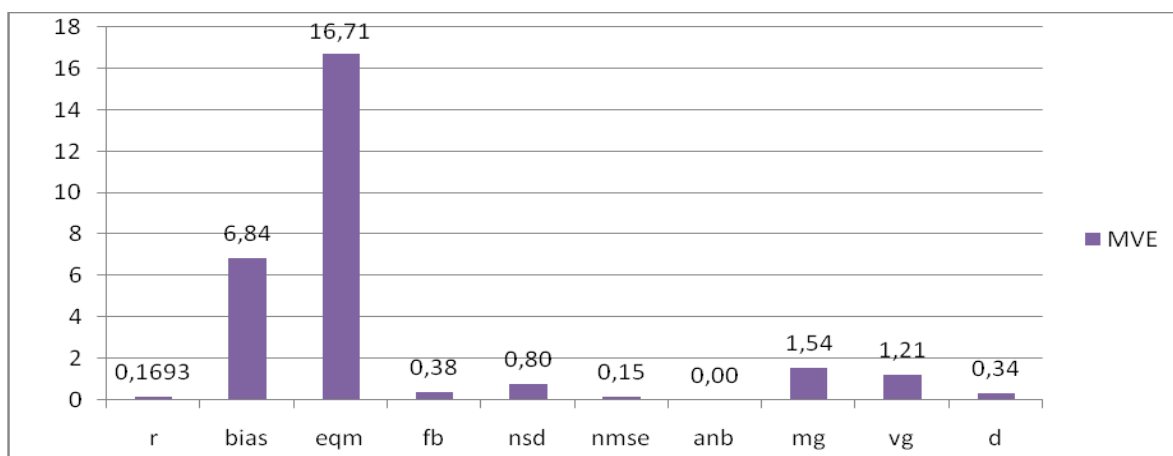
**Figura D.17** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

### Alentejo Litoral – Monte Velho

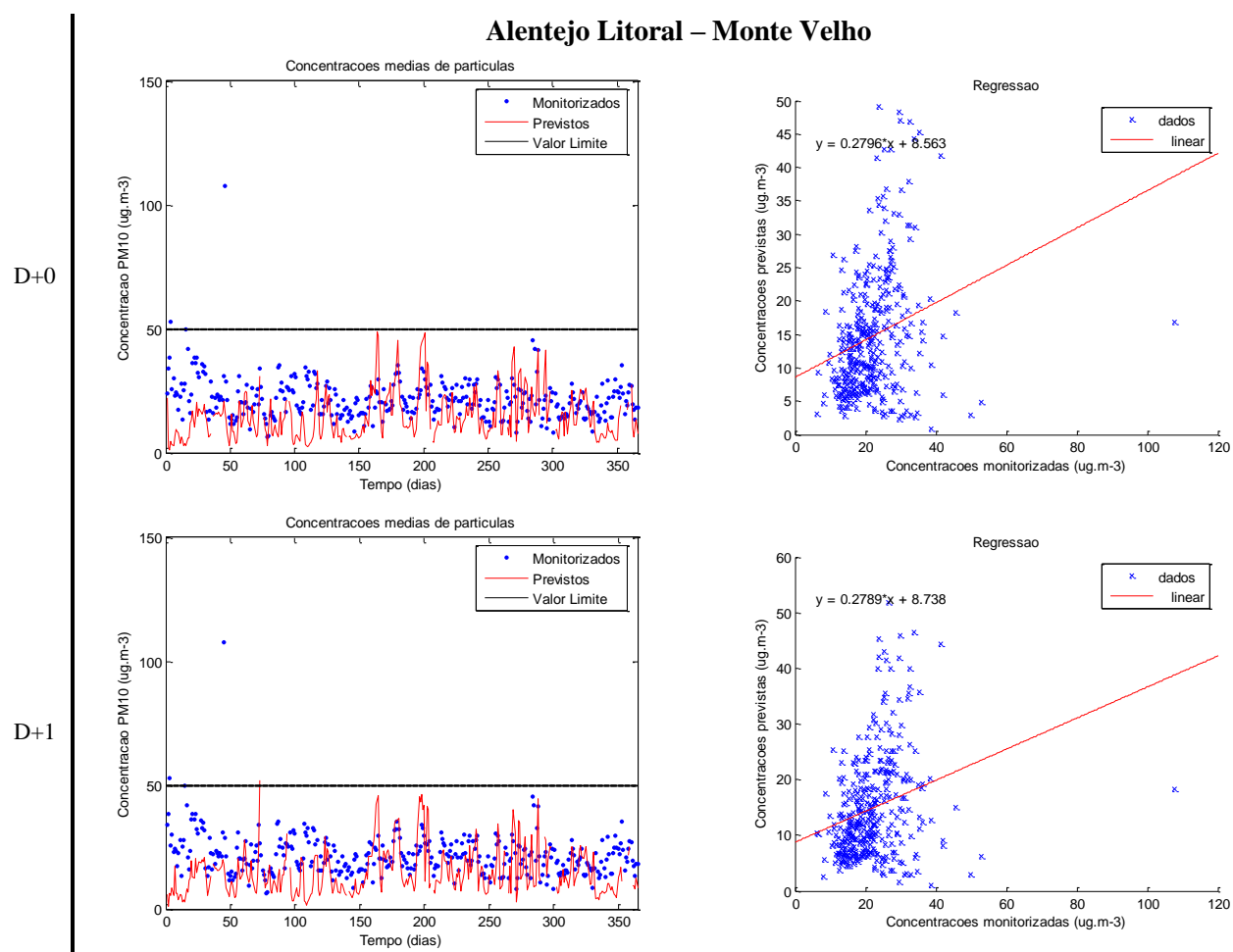
**Tabela D.16** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,182	6,91	16,72	0,38	0,81	0,15	n.a.	1,56	1,22	0,35
D+1	0,172	6,85	16,68	0,38	0,80	0,15	n.a.	1,55	1,21	0,35
D+2	0,153	6,76	16,74	0,37	0,78	0,14	n.a.	1,52	1,19	0,33
Média	0,169	6,84	16,71	0,38	0,80	0,15	n.a.	1,54	1,21	0,34

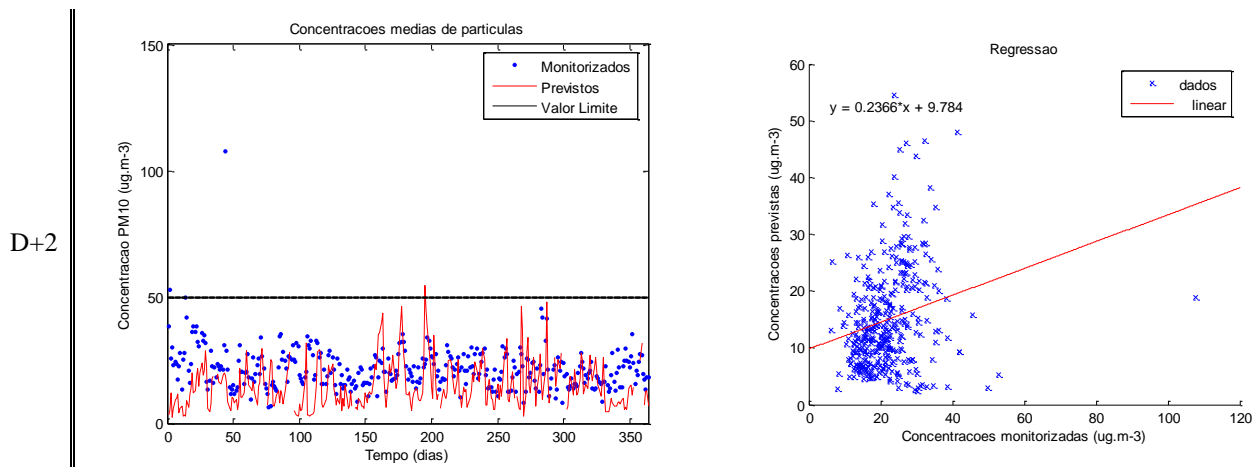




**Figura D.18** - Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Monte Velho.





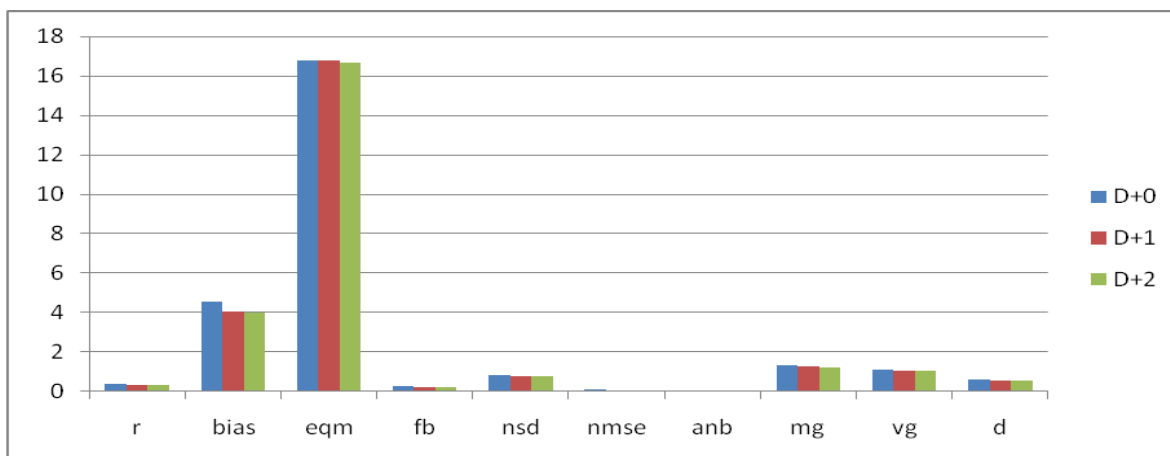


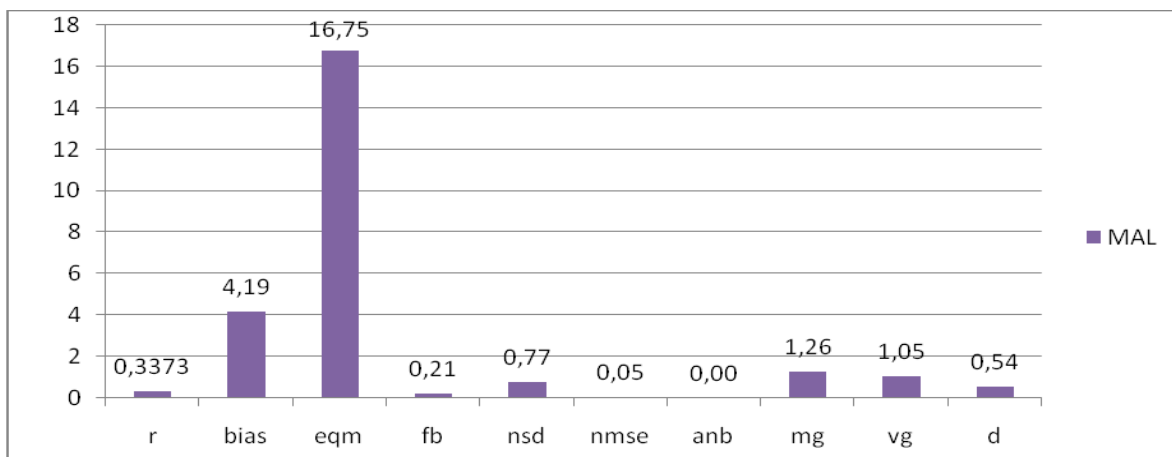
**Figura D.19** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

### Albufeira/Loulé - Malpique

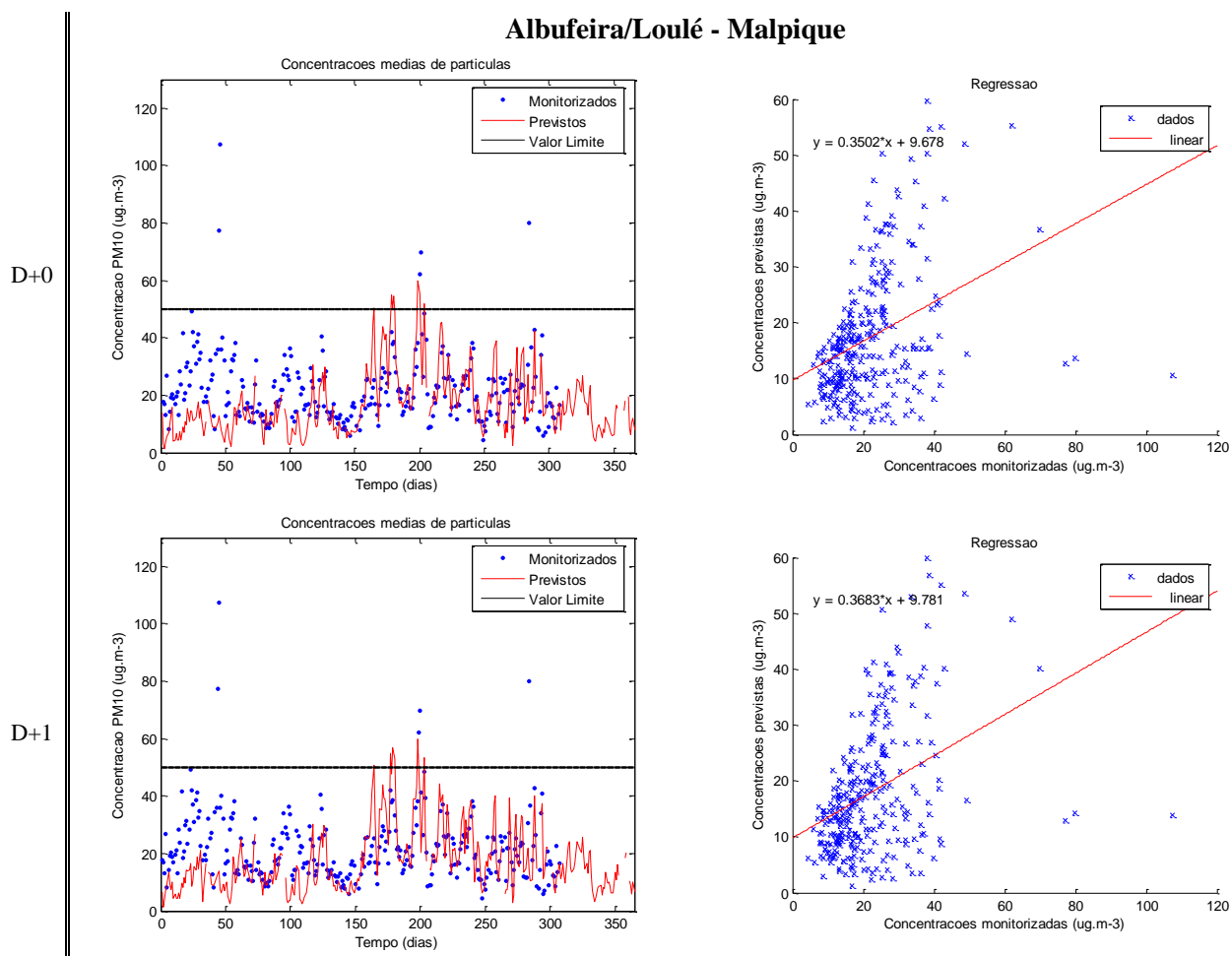
**Tabela D.17** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,344	4,50	16,79	0,23	0,77	0,05	n.a.	1,29	1,07	0,54
D+1	0,341	4,07	16,80	0,20	0,79	0,04	n.a.	1,25	1,05	0,54
D+2	0,327	4,01	16,67	0,20	0,76	0,04	n.a.	1,23	1,04	0,53
Média	0,337	4,19	16,75	0,21	0,77	0,05	n.a.	1,26	1,05	0,54

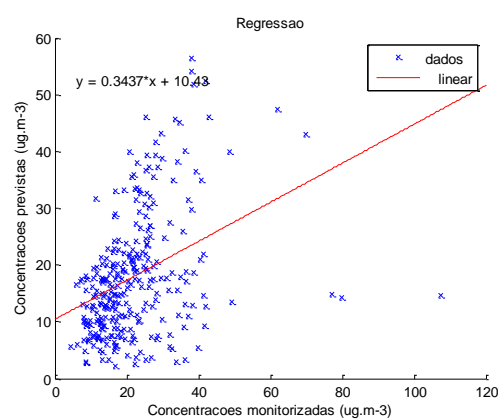
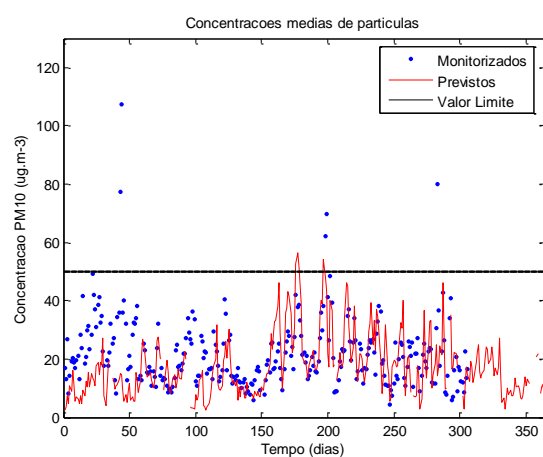




**Figura D.20** - Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Malpique.



D+2



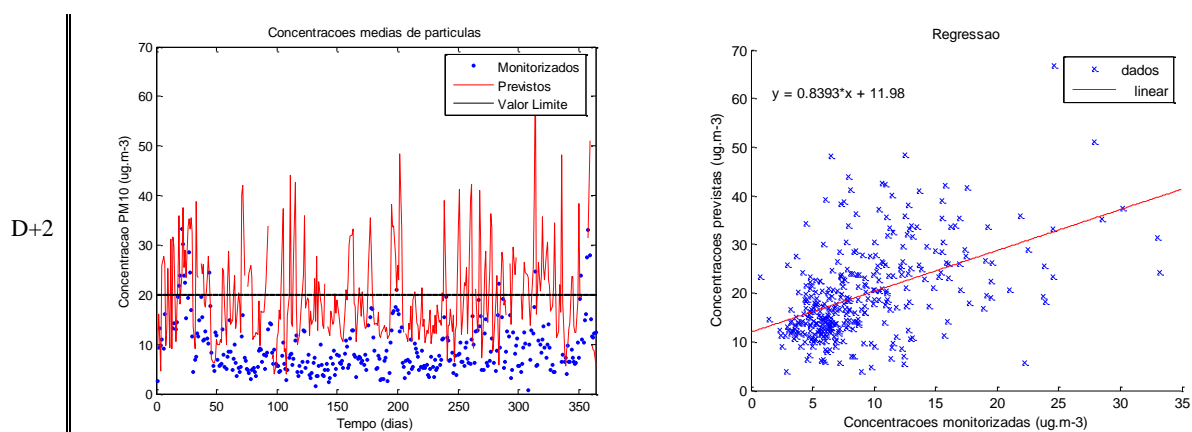
**Figura D.21** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

## Anexo E– Validação do sistema MM5-CHIMERE para as PM<sub>2,5</sub>.

### Setúbal – Camarinha

**Tabela E.1** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,312	-10,24	16,76	-0,72	2,06	0,59	n.a.	0,45	1,93	0,16
D+1	0,304	-9,86	15,81	-0,70	1,89	0,56	n.a.	0,45	1,88	0,16
D+2	0,311	-10,41	17,04	-0,73	2,09	0,61	n.a.	0,45	1,90	0,15
Média	0,309	-10,17	16,54	-0,72	2,01	0,59	n.a.	0,45	1,90	0,16

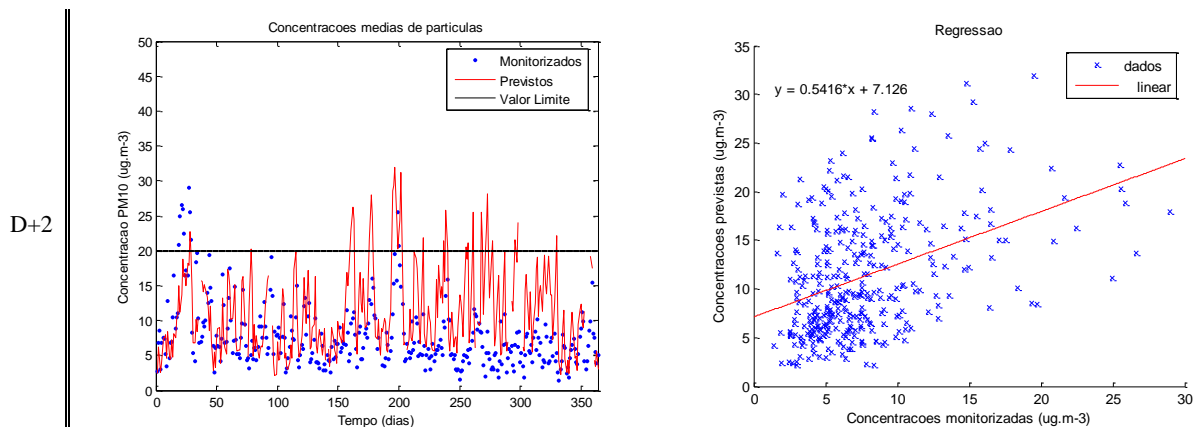


**Figura E.1-** Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

### Vale do Tejo e Oeste - Chamusca

**Tabela E.2** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,309	-3,58	8,58	-0,38	1,39	0,15	n.a.	0,69	1,15	0,46
D+1	0,315	-3,63	8,70	-0,38	1,40	0,15	n.a.	0,69	1,14	0,46
D+2	0,275	-3,63	8,70	-0,38	1,34	0,15	n.a.	0,69	1,15	0,44
Média	0,300	-3,61	8,66	-0,38	1,37	0,15	n.a.	0,69	1,15	0,45

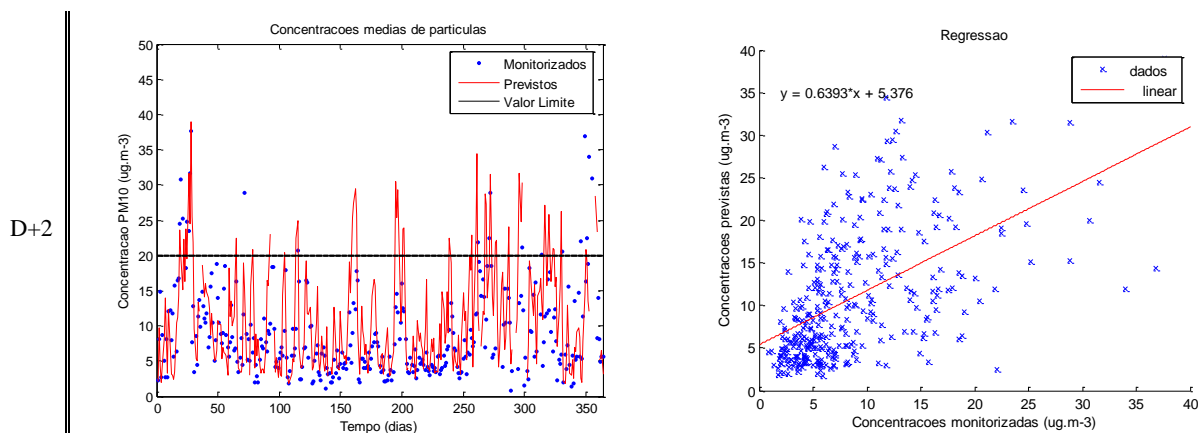


**Figura E.2-** Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

### Centro Litoral - Ervedeira

**Tabela E.3 -** Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,395	-1,96	9,16	-0,21	1,16	0,04	n.a.	0,80	1,05	0,60
D+1	0,405	-2,08	9,26	-0,22	1,19	0,05	n.a.	0,80	1,05	0,61
D+2	0,362	-2,23	9,73	-0,23	1,17	0,05	n.a.	0,78	1,07	0,57
Média	0,388	-2,09	9,38	-0,22	1,17	0,05	n.a.	0,79	1,06	0,60

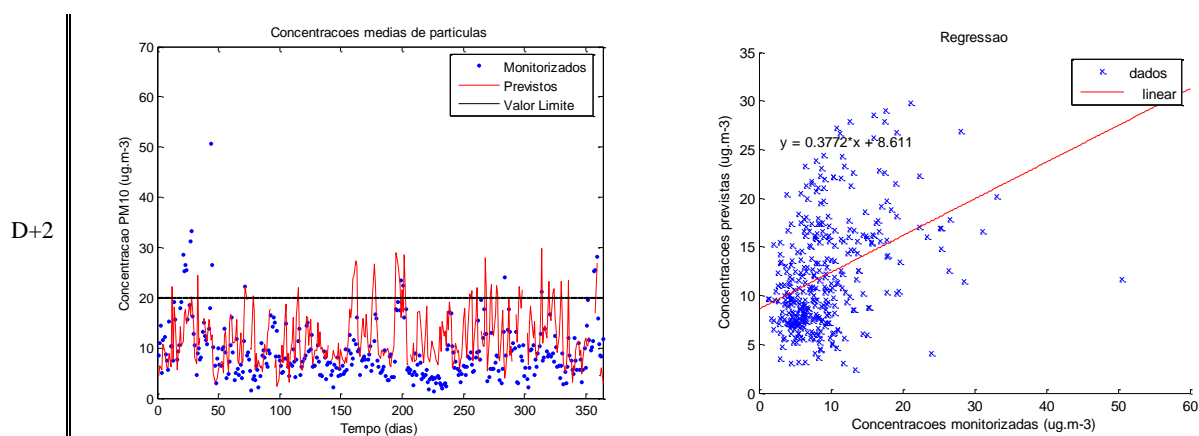


**Figura E.3-** Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

Península de Setúbal/Álcacer do Sal – Fernando Pó

**Tabela E.4** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,260	-3,02	9,54	-0,28	1,01	0,08	n.a.	0,68	1,16	0,47
D+1	0,270	-2,77	9,21	-0,26	0,96	0,07	n.a.	0,69	1,15	0,49
D+2	0,262	-2,99	9,42	-0,28	0,98	0,08	n.a.	0,68	1,16	0,48
Média	0,264	-2,92	9,39	-0,28	0,98	0,08	n.a.	0,68	1,15	0,48

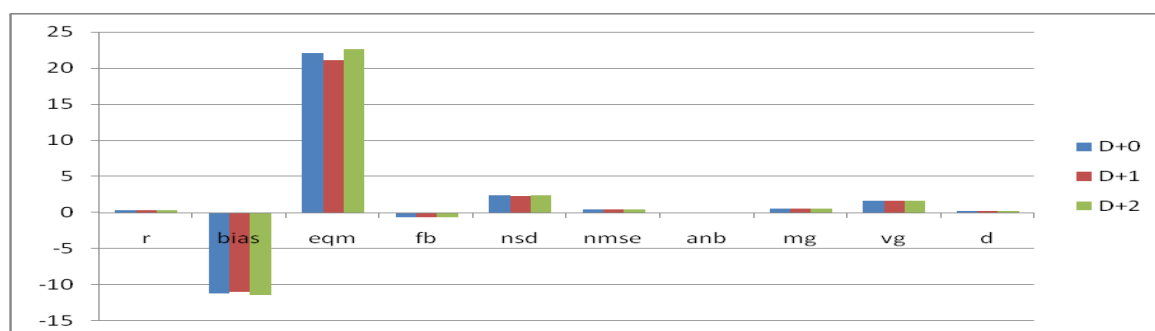


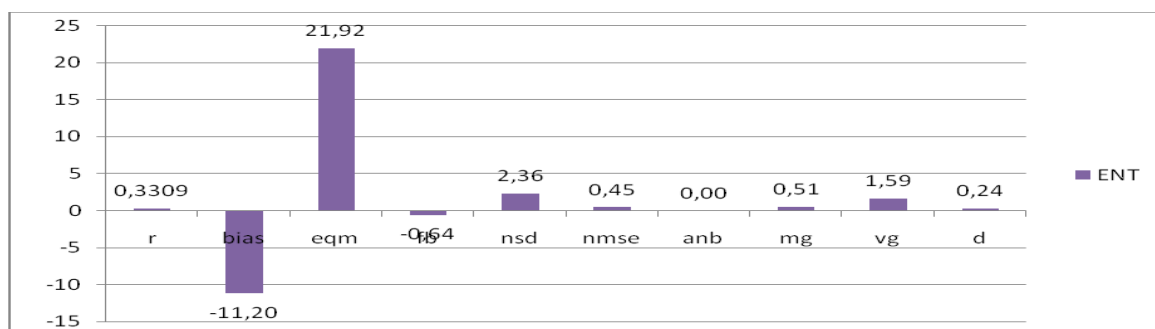
**Figura E.4-** Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

AML Norte - Entrecampos

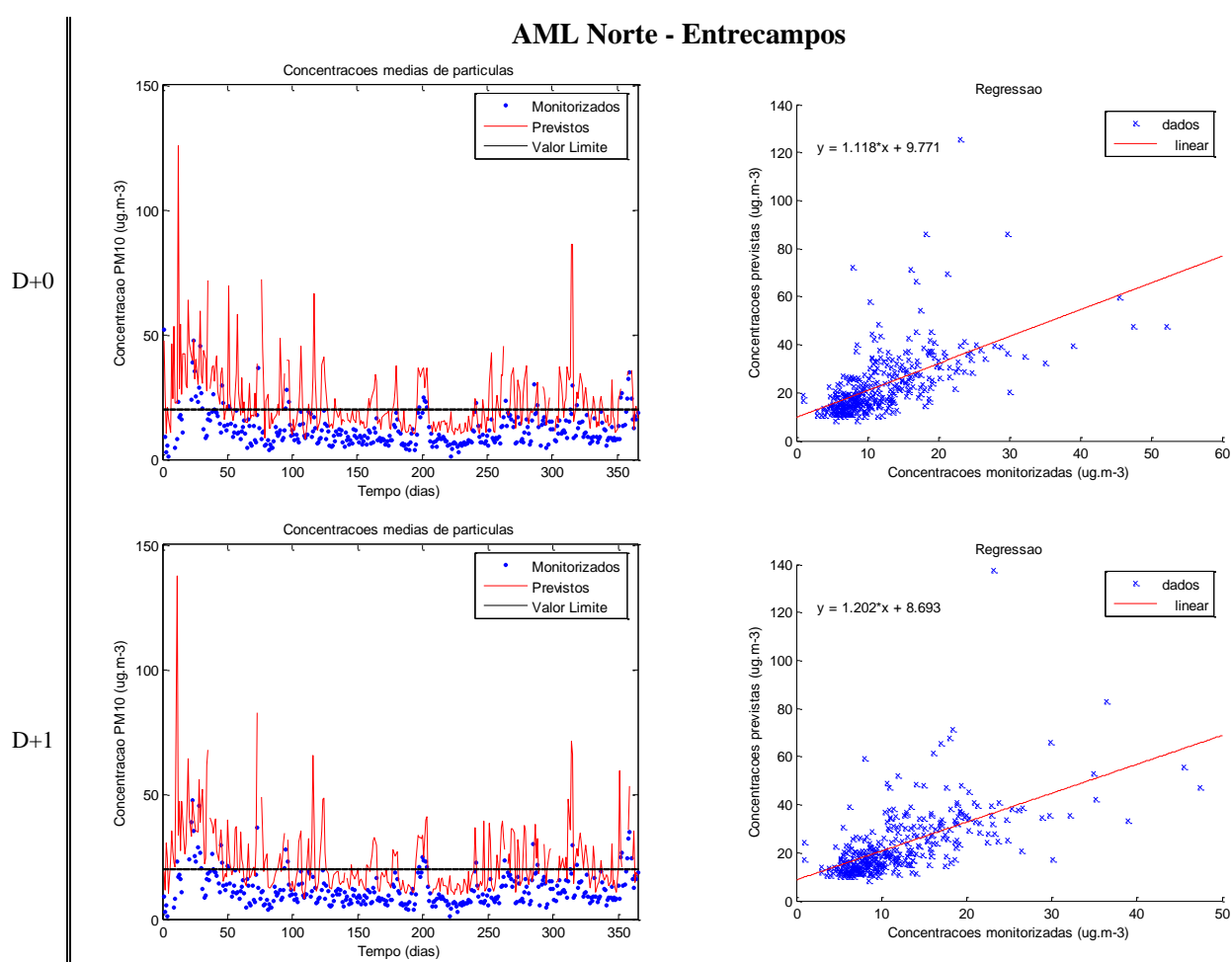
**Tabela E.5** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

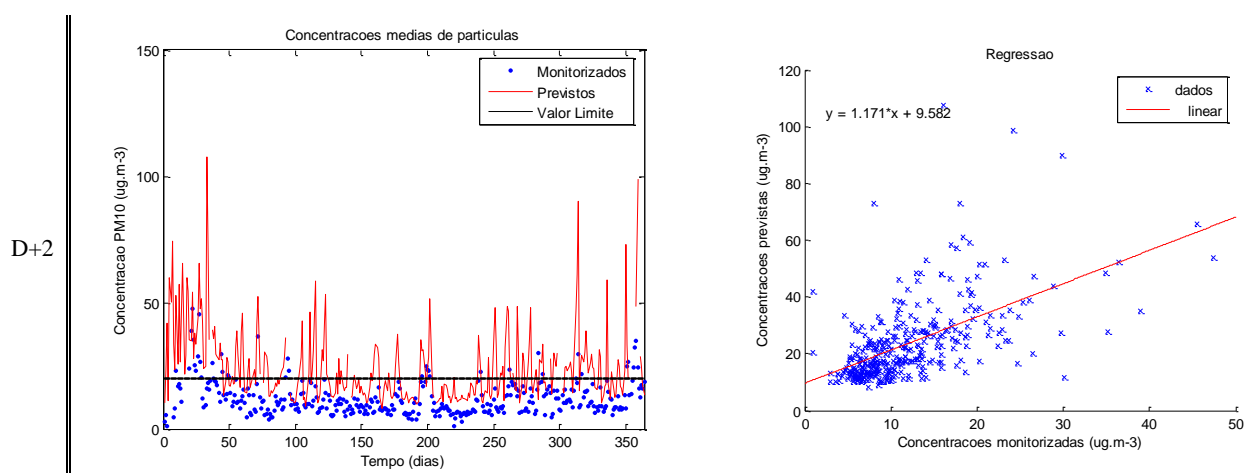
	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,342	-11,15	22,11	-0,63	2,35	0,45	n.a.	0,50	1,60	0,25
D+1	0,348	-11,03	21,06	-0,63	2,28	0,44	n.a.	0,51	1,58	0,25
D+2	0,302	-11,40	22,60	-0,65	2,44	0,46	n.a.	0,51	1,58	0,21
Média	0,331	-11,20	21,92	-0,64	2,36	0,45	n.a.	0,51	1,59	0,24





**Figura E.5-** Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Entrecampos.



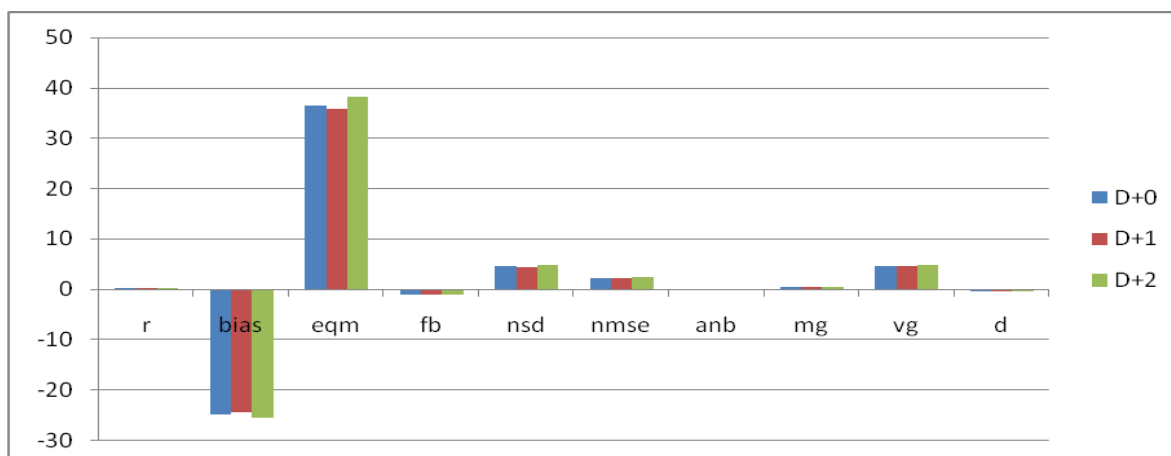


**Figura E.6** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

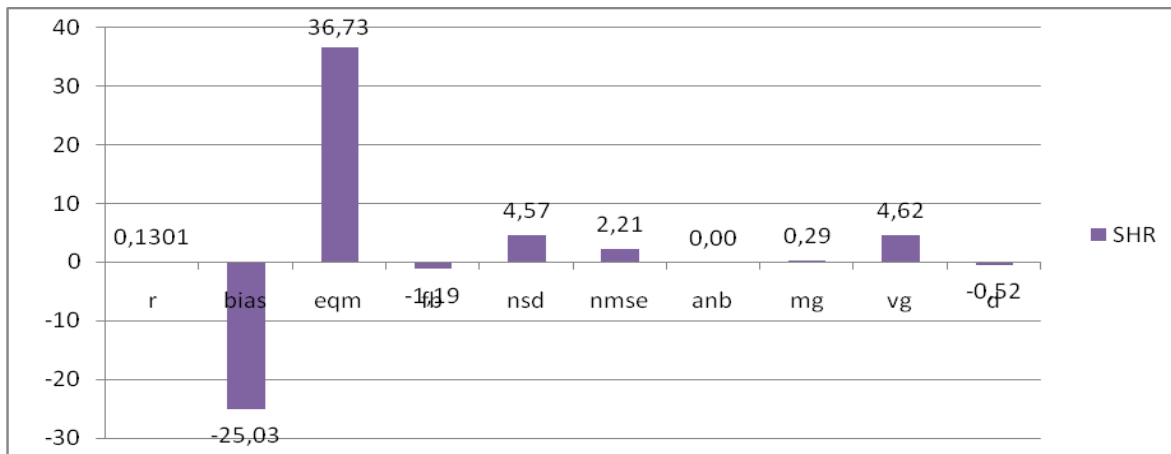
### Porto Litoral – Senhora da Hora

**Tabela E.5-** Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

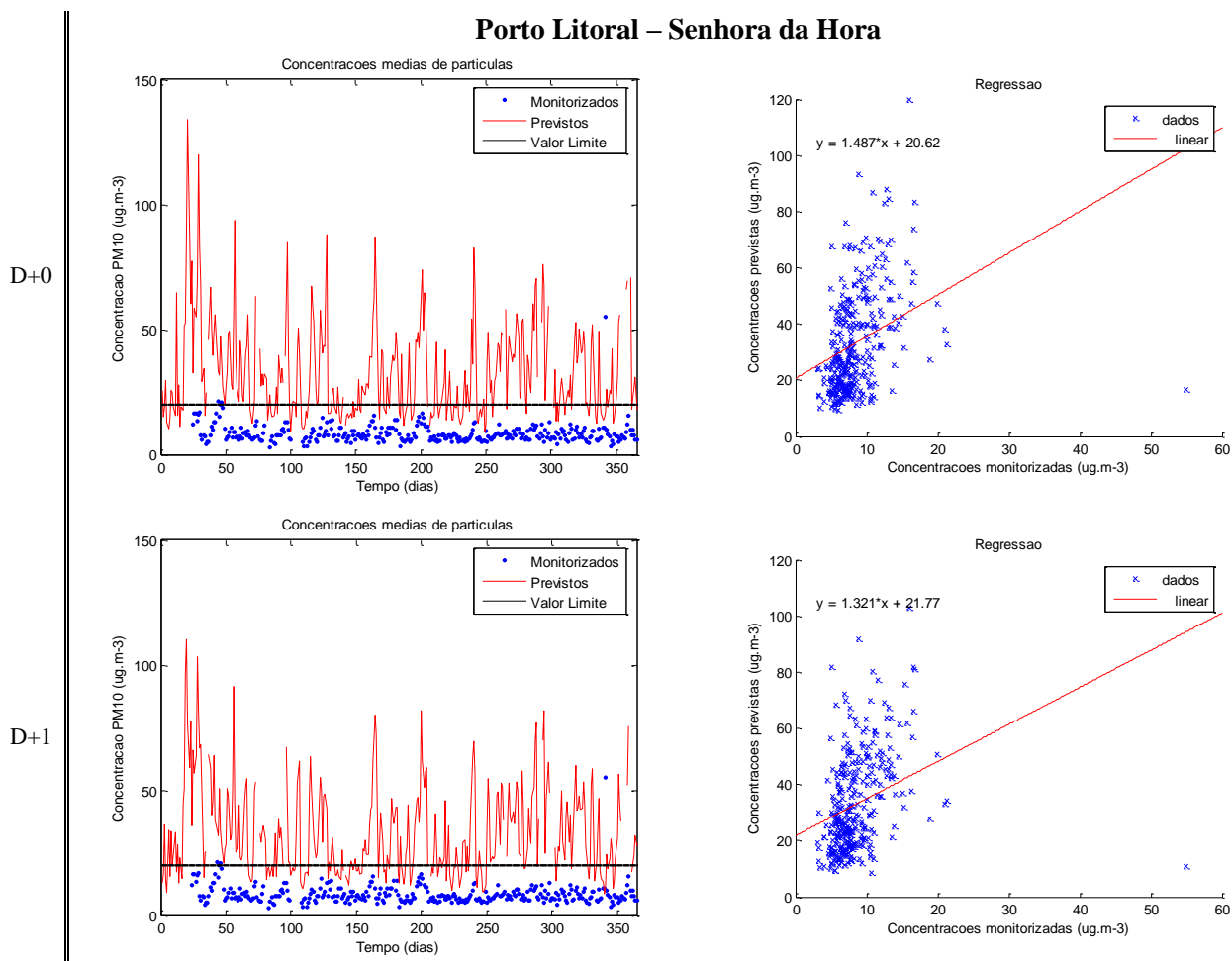
	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,146	-24,92	36,35	-1,19	4,53	2,20	n.a.	0,29	4,59	-0,52
D+1	0,138	-24,59	35,70	-1,18	4,40	2,16	n.a.	0,29	4,52	-0,53
D+2	0,106	-25,58	38,14	-1,20	4,79	2,27	n.a.	0,29	4,74	-0,52
Média	0,130	-25,03	36,73	-1,19	4,57	2,21	n.a.	0,29	4,62	-0,52

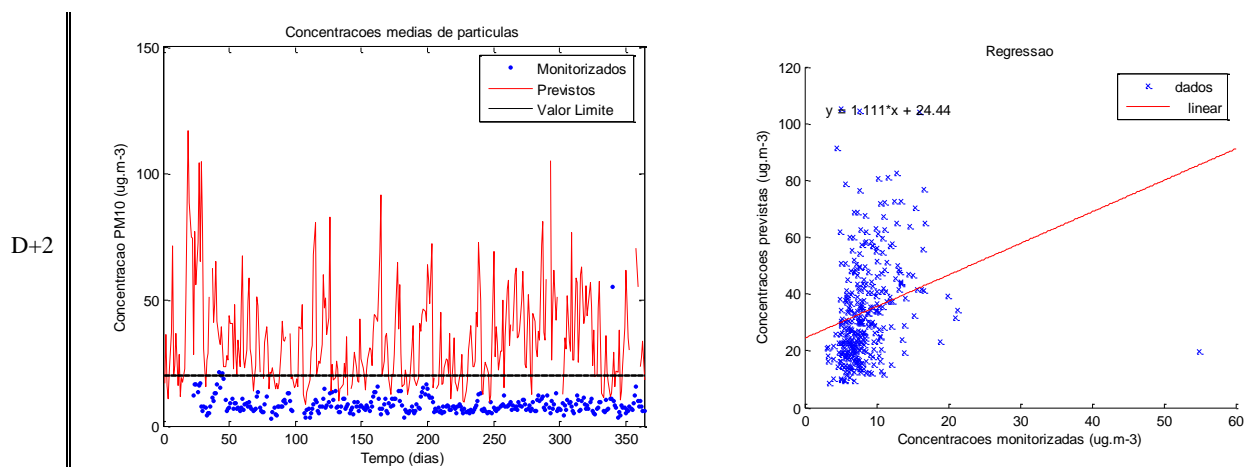






**Figura E.7-** Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Senhora da Hora.



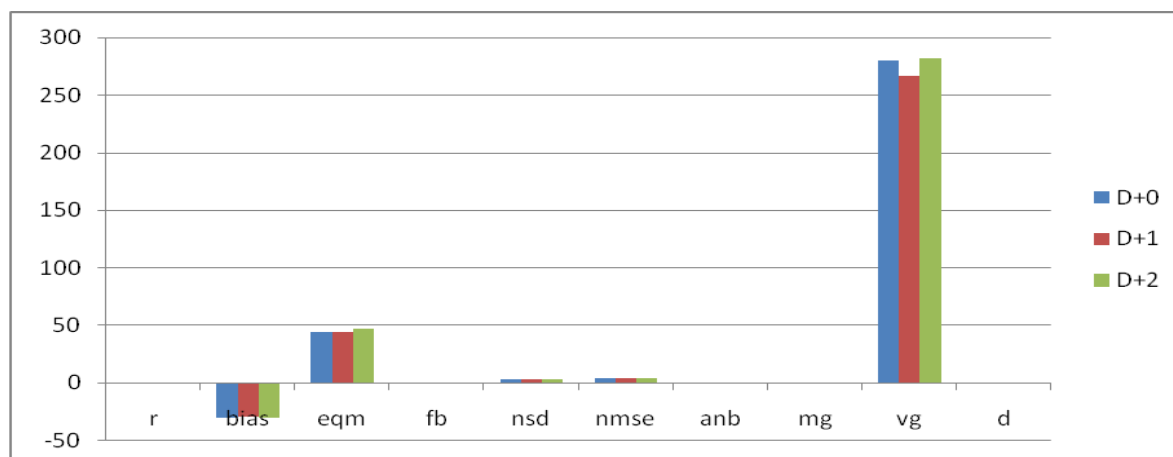


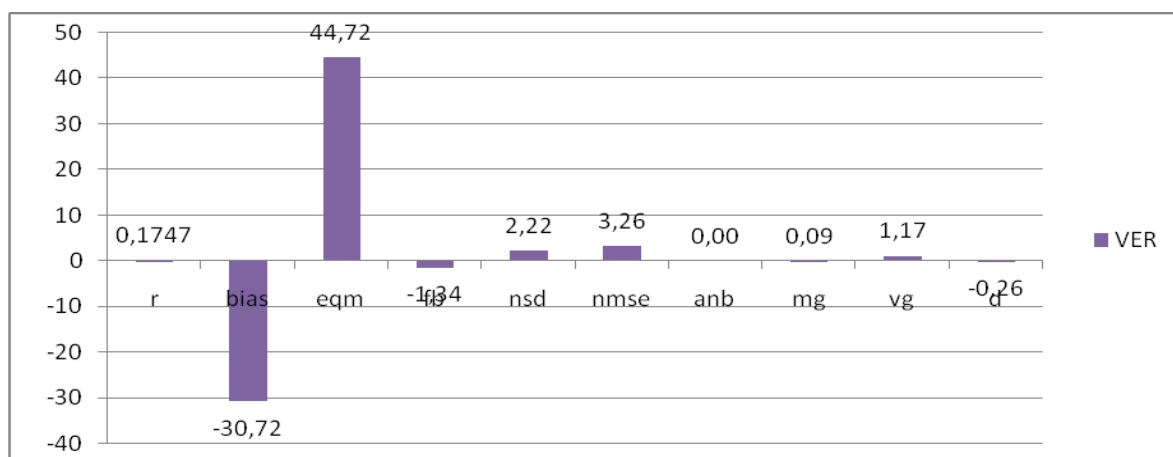
**Figura E.8-** Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

### Porto Litoral - Vermoim

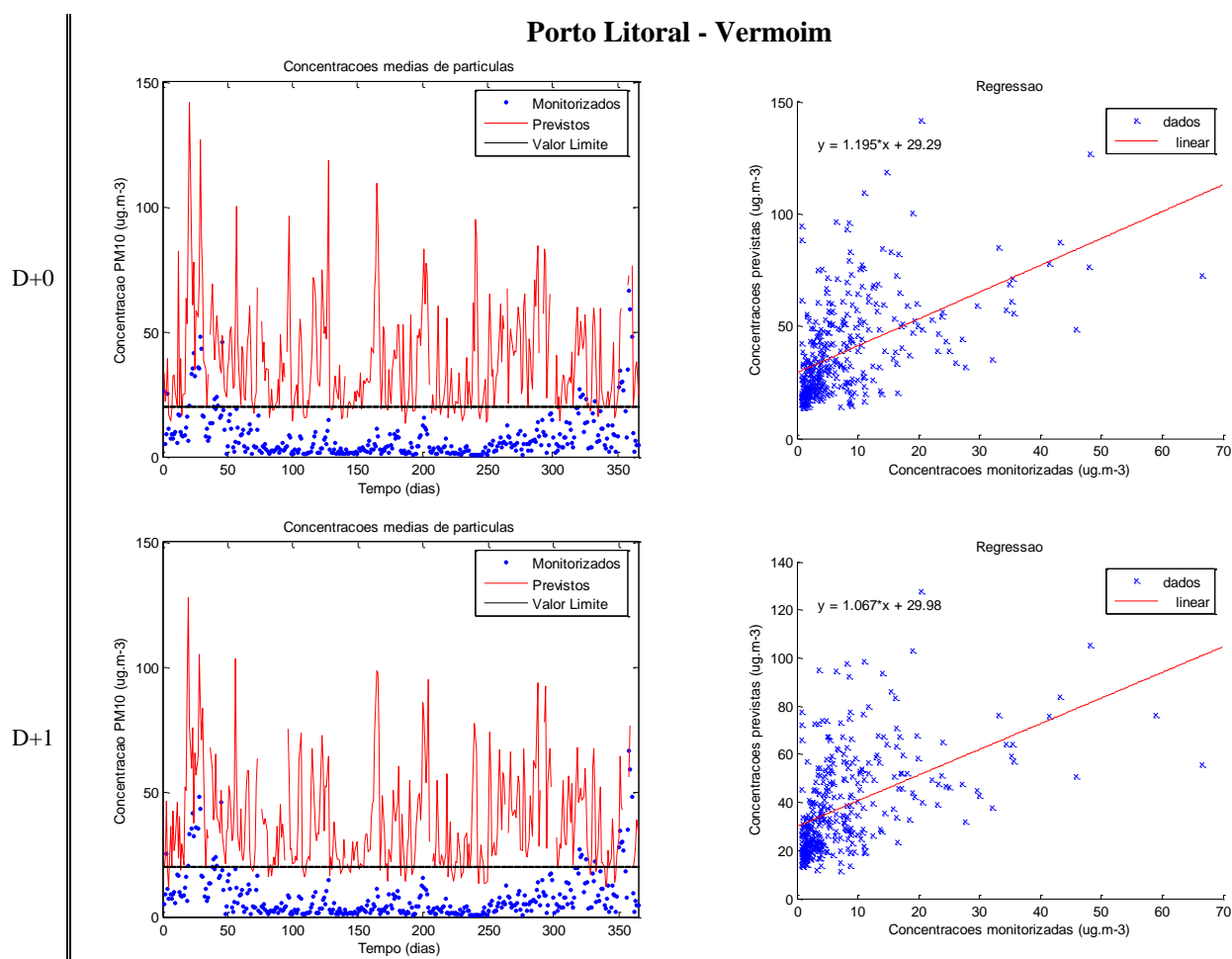
**Tabela E.6 -** Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

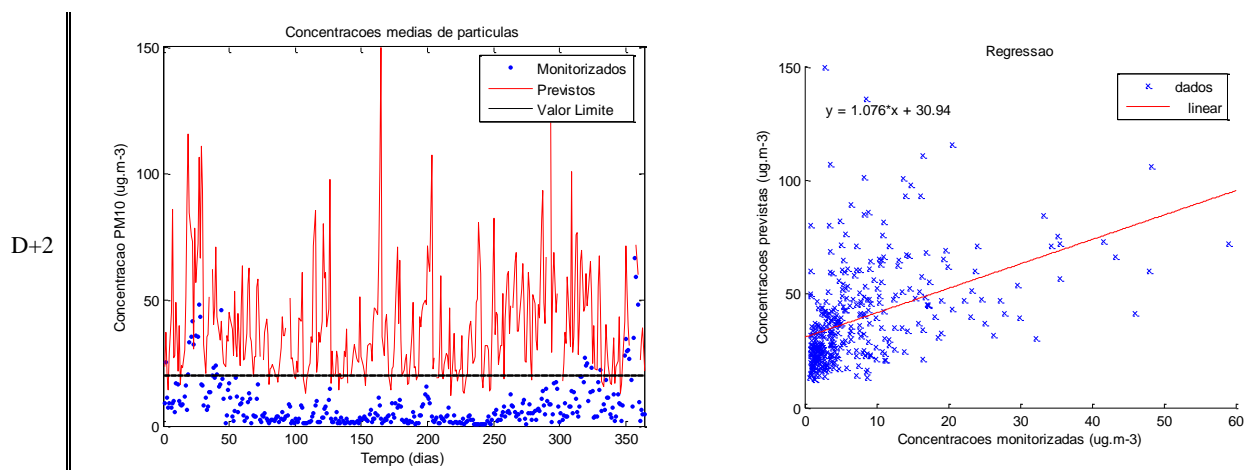
	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,185	-30,65	44,10	-1,34	2,14	3,25	n.a.	0,09	279,72	-0,26
D+1	0,177	-30,32	43,56	-1,33	2,12	3,21	n.a.	0,09	266,60	-0,27
D+2	0,162	-31,20	46,51	-1,34	2,42	3,30	n.a.	0,09	282,20	-0,26
Média	0,175	-30,72	44,72	-1,34	2,22	3,26	n.a.	0,09	276,17	-0,26





**Figura E.9-** Gráfico com os parâmetros estatísticos referentes aos três dias de previsão e com os parâmetros estatísticos médios para Vermoim.



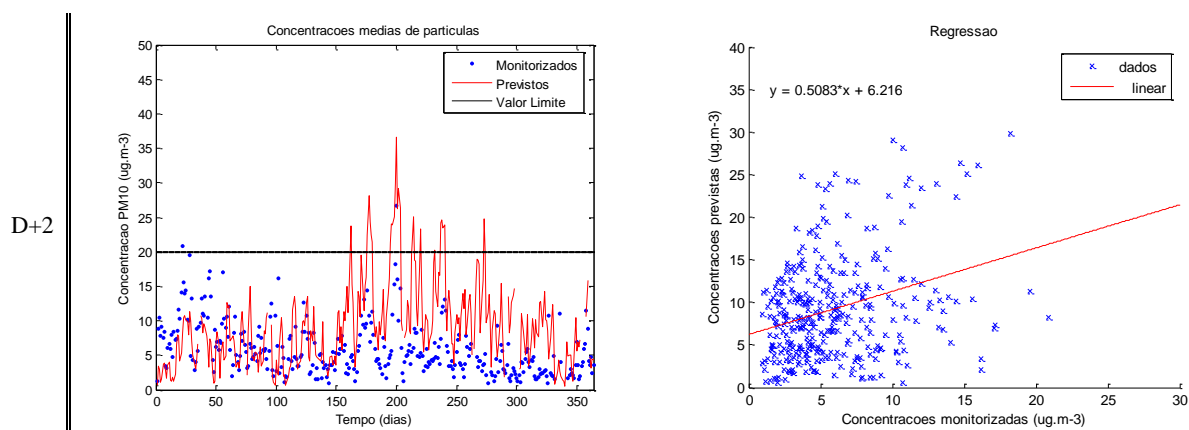


**Figura E.10** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para os respectivos dias de previsão.

### Centro Interior - Fundão

**Tabela E.8** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,239	-3,23	8,09	-0,43	1,45	0,20	n.a.	0,66	1,19	0,42
D+1	0,258	-3,33	8,07	-0,45	1,46	0,21	n.a.	0,65	1,20	0,43
D+2	0,236	-3,45	8,06	-0,46	1,42	0,22	n.a.	0,62	1,25	0,41
Média	0,244	-3,34	8,07	-0,45	1,44	0,21	n.a.	0,64	1,21	0,42

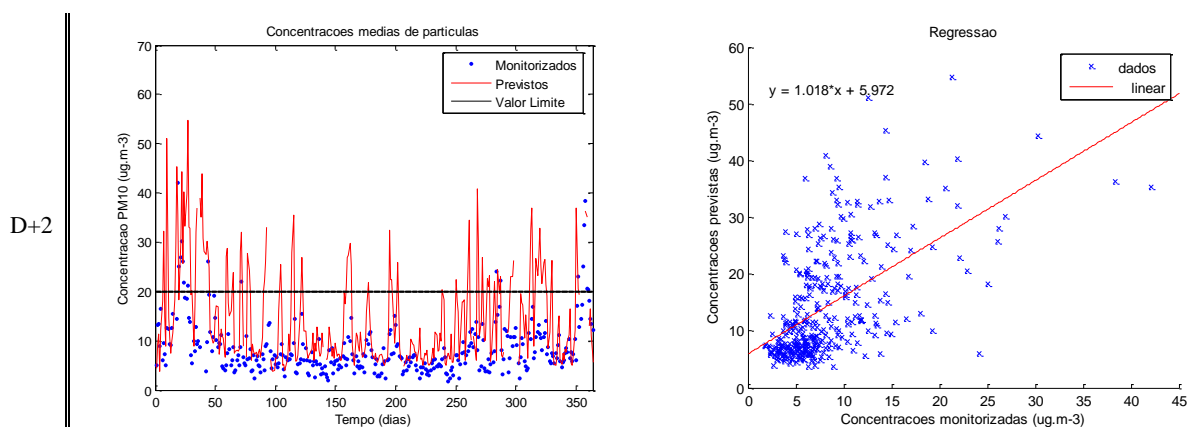


**Figura E.13** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

## AML Norte – Mem-Martins

**Tabela E.9** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,339	-5,32	12,69	-0,49	1,65	0,25	n.a.	0,58	1,35	0,44
D+1	0,341	-5,64	13,10	-0,51	1,68	0,28	n.a.	0,57	1,37	0,43
D+2	0,324	-5,99	13,18	-0,54	1,70	0,31	n.a.	0,56	1,40	0,40
Média	0,335	-5,65	12,99	-0,51	1,68	0,28	n.a.	0,57	1,37	0,42

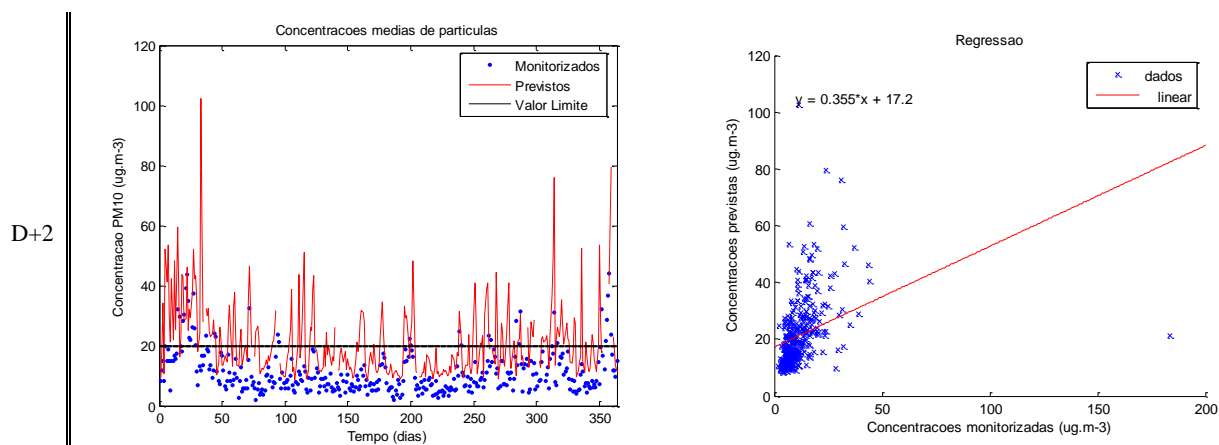


**Figura E.14** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

## AML Norte - Olivais

**Tabela E.10** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,213	-9,70	21,54	-0,60	1,29	0,40	n.a.	0,48	1,72	0,25
D+1	0,222	-9,42	20,47	-0,59	1,19	0,38	n.a.	0,48	1,70	0,26
D+2	0,198	-10,14	22,63	-0,62	1,39	0,43	n.a.	0,48	1,71	0,23
Média	0,211	-9,75	21,55	-0,60	1,29	0,40	n.a.	0,48	1,71	0,25

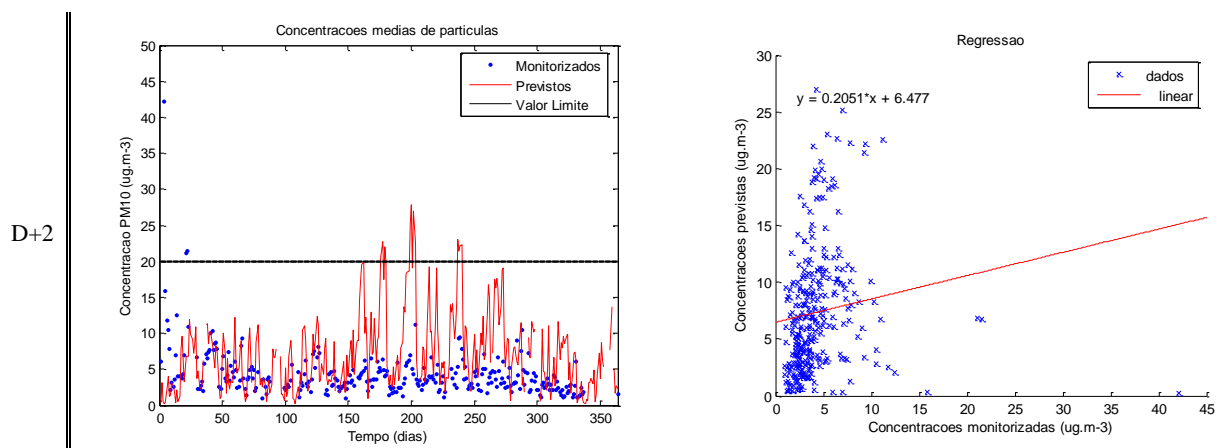


**Figura E.15** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

### Norte Interior – Lamas de Olo

**Tabela E.11** - Parâmetros estatísticos para os três dias de previsão e respectiva média.

	r	bias	eqm	fb	nsd	nmse	anb	mg	vg	d
D+0	0,166	-2,84	7,27	-0,52	1,35	0,29	n.a.	0,68	1,16	0,31
D+1	0,166	-3,02	7,38	-0,54	1,37	0,32	n.a.	0,66	1,19	0,30
D+2	0,167	-3,26	7,43	-0,57	1,35	0,36	n.a.	0,62	1,26	0,28
Média	0,167	-3,04	7,36	-0,54	1,36	0,32	n.a.	0,65	1,20	0,30



**Figura E.16** - Gráficos de séries temporais e de regressão linear para D+2.

## Anexo F– Falso Alarme para os IQA fraco e mau.

**Tabela F.1** – Falso alarme para os IQA fraco e mau, em percentagem, para o O<sub>3</sub>.

	Falso Alarme - O <sub>3</sub>		
	D+0	D+1	D+2
CAM	0,0	0,3	0,9
CHA	0,0	0,0	0,0
ERM	0,0	0,0	0,0
E R V	0,0	0,0	0,0
FPO	0,6	0,6	0,0
FRN	0,0	0,0	0,0
FUN	0,0	0,0	0,0
HRT	0,3	0,0	0,0
ILH	0,0	0,0	0,0
LAR	0,6	0,0	0,6
LAT	0,3	0,0	0,0
MARQ	0,0	0,0	0,3
MVE	0,0	0,0	0,0
OLI	0,6	0,6	0,0
OLO	0,0	0,0	0,0
PP	0,6	0,3	0,6
REB	0,0	0,0	0,0
SMIN	0,0	0,0	0,0

**Tabela F.2** – Falso alarme para os IQA fraco e mau, em percentagem, para as PM<sub>10</sub>.

	Falso Alarme - PM <sub>10</sub>		
	D+0	D+1	D+2
CAM	8,1	6,9	8,4
CHA	2,0	2,3	0,9
ERM	21,7	22,7	21,9
E R V	1,2	0,6	0,9
FPO	1,8	0,3	1,2
FRN	1,7	1,3	0,3
FUN	1,5	1,5	0,1
HRT	1,2	1,5	0,6
ILH	15,6	17,8	18,3
LAR	22,2	22,0	21,1
LAT	2,5	1,3	2,8
MARQ	7,7	9,2	9,2
MVE	0,0	0,3	0,3
OLI	8,5	7,3	10,1
OLO	0,0	0,0	0,0
PP	15,2	15,2	15,2
REB	11,0	12,8	12,3
SMIN	0,6	0,3	0,0

## Anexo G – Probabilidade de detecção dos IQA fraco e mau.

**Tabela G.1** – Probabilidade de detecção dos IQA fraco e mau, em percentagem, para o O<sub>3</sub>.

	Probabilidade Detecção - O <sub>3</sub>		
	D+0	D+1	D+2
CAM	100,0	100,0	0,0
CHA	0,0	0,0	0,0
ERM	0,0	0,0	0,0
E R V	-	-	-
FPO	100,0	0,0	0,0
FRN	0,0	12,5	0,0
FUN	-	-	-
HRT	0,0	0,0	-
ILH	0,0	0,0	0,0
LAR	0,0	0,0	0,0
LAT	0,0	50,0	0,0
MARQ	0,0	0,0	0,0
MVE	-	-	-
OLI	0,0	0,0	-
OLO	10,0	0,0	0,0
PP	0,0	0,0	0,0
REB	-	-	-
SMIN	-	-	-

**Tabela G.2** – Probabilidade de detecção dos IQA fraco e mau , em percentagem, para as PM<sub>10</sub>

	Probabilidade Detecção - PM <sub>10</sub>		
	D+0	D+1	D+2
CAM	0,0	0,0	0,0
CHA	0,0	0,0	0,0
ERM	71,0	73,3	83,3
E R V	0,0	0,0	0,0
FPO	28,6	37,5	0,0
FRN	33,3	33,3	33,3
FUN	50,0	100,0	100,0
HRT	0,0	0,0	0,0
ILH	64,3	64,3	62,5
LAR	75,0	69,2	61,5
LAT	0,0	0,0	0,0
MARQ	50,0	75,0	50
MVE	0,0	0,0	0,0
OLI	41,7	46,2	58,3
OLO	0,0	0,0	0,0
PP	60,9	62,5	56,3
REB	62,5	62,5	28,6
SMIN	0,0	0,0	0,0



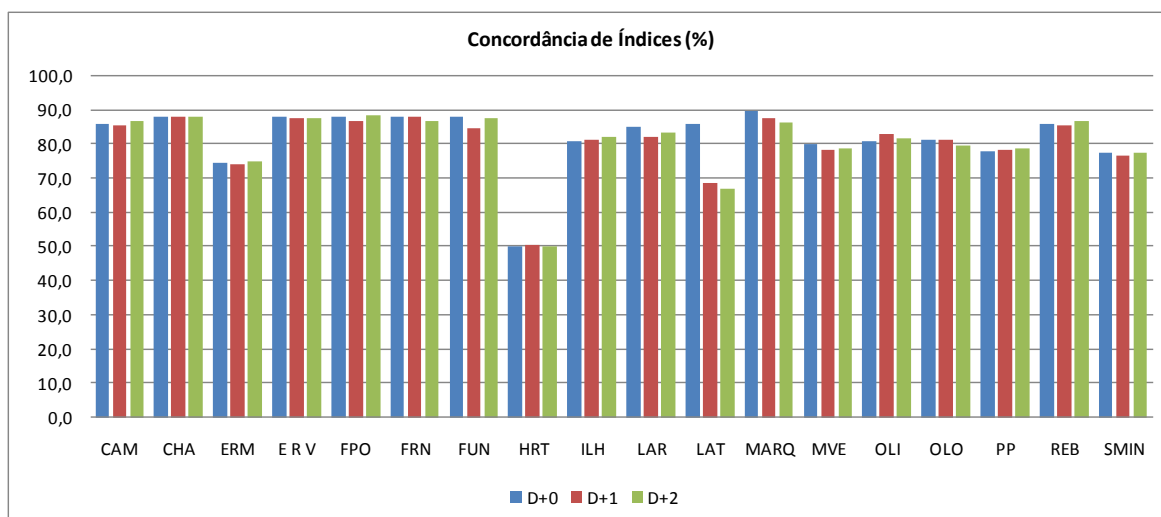
## Anexo H– Concordância de índices.

**Tabela H.1** - Concordância de índices, em percentagem, para o O<sub>3</sub>, para o ano 2008.

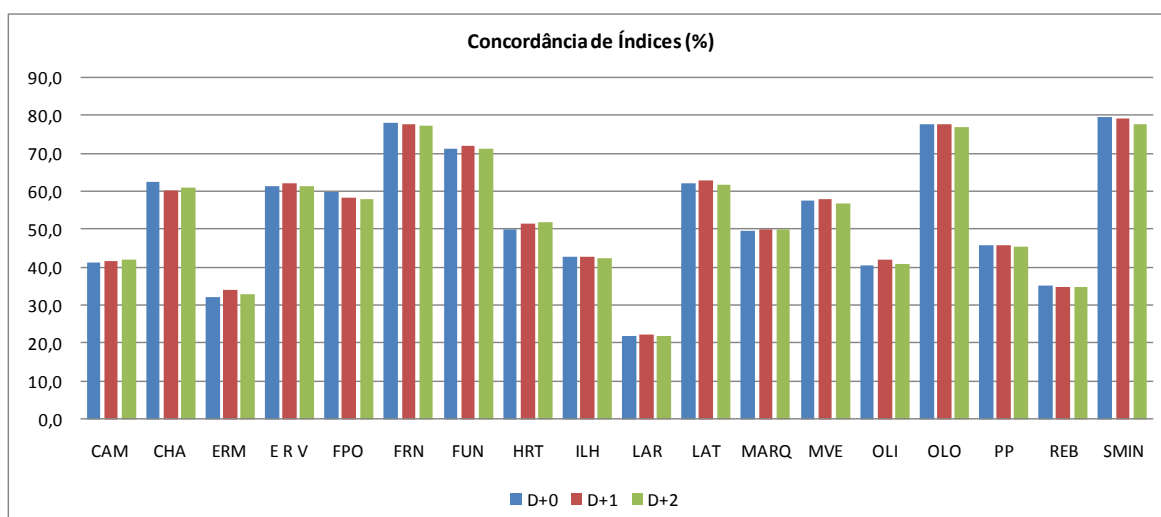
	Concordância de índices		
	D+0	D+1	D+2
CAM	86,0	85,6	86,7
CHA	88,1	88,3	88,3
ERM	74,8	74,4	75,1
E R V	88,3	87,7	87,9
FPO	88,0	86,8	88,5
FRN	88,0	88,0	86,9
FUN	88,3	84,7	87,7
HRT	50,3	50,7	50,3
ILH	80,9	81,5	82,4
LAR	85,3	82,4	83,4
LAT	85,9	68,7	67,0
MARQ	89,7	87,9	86,7
MVE	80,0	78,4	79,0
OLI	81,0	83,0	82,0
OLO	81,6	81,6	79,9
PP	78,0	78,6	78,8
REB	86,0	85,6	86,8
SMIN	77,8	77,0	77,8

**Tabela H.2** - Concordância de índices, em percentagem, para o PM<sub>10</sub>, para o ano 2008.

	Concordância de índices		
	D+0	D+1	D+2
CAM	41,5	41,9	42,2
CHA	62,8	60,3	61,3
ERM	32,5	34,0	33,1
E R V	61,7	62,1	61,6
FPO	59,9	58,4	58,2
FRN	78,1	77,9	77,5
FUN	71,4	72,0	71,3
HRT	50,3	51,6	52,1
ILH	42,9	43,0	42,4
LAR	21,9	22,3	22,1
LAT	62,3	63,2	61,9
MARQ	49,9	50,1	50,0
MVE	57,8	58,0	57,1
OLI	40,6	42,3	41,2
OLO	77,7	78,0	77,1
PP	45,8	45,9	45,5
REB	35,4	34,9	34,8
SMIN	79,7	79,2	77,8



**Figura H.1** – Gráfico com a concordância de índices, por dia de previsão, para o O<sub>3</sub>, para o ano 2008.



**Figura H.2** – Gráfico com a concordância de índices, por dia de previsão, para o PM<sub>10</sub>, para o ano 2008.

## Anexo I– Intercomparação modelo estatístico com modelo determinístico MM5-CHIMERE – O<sub>3</sub>.

**Tabela I.1** – resumo dos parâmetros estatísticos por estação, relativos aos dois modelos de previsão em Portugal, para o O<sub>3</sub>.

Estação		Determinístico	Estatístico
Ermesinde	r	0,616	0,654
	bias	-17,57	3,64
	eqm	29,22	20,17
Horto	r	0,557	0,570
	bias	-40,31	-13,97
	eqm	46,28	28,38
Inst. Geofísico de Coimbra	r	0,616	0,641
	bias	-25,04	1,23
	eqm	32,10	19,12
Ílhavo	r	0,660	0,590
	bias	-17,86	3,86
	eqm	28,11	19,33
Laranjeiro	r	0,729	0,428
	bias	-6,93	12,99
	eqm	20,44	22,05
Quinta do Marquês	r	0,727	0,438
	bias	-6,22	5,75
	eqm	19,27	20,24

## Anexo J – Intercomparação modelo estatístico com modelo determinístico MM5-CHIMERE – PM<sub>10</sub>.

**Tabela J.1** - resumo dos parâmetros estatísticos por estação, relativos aos dois modelos de previsão em Portugal, para PM<sub>10</sub>.

Estação		Determinístico	Estatístico
Ermesinde	r	0,3185	0,161
	bias	-14,88	-1,49
	eqm	35,33	17,57
Horto	r	0,105	0,522
	bias	5,12	-0,72
	eqm	25,28	11,08
Ílhavo	r	0,427	0,402
	bias	-8,16	-1,67
	eqm	27,36	19,21
Laranjeiro	r	0,295	0,439
	bias	-17,21	-5,42
	eqm	37,19	13,56
Quinta do Marquês	r	0,350	0,368
	bias	-3,14	1,03
	eqm	21,55	10,65